UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA

DIPARTIMENTO GEMINI

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

MECCANICA AGRARIA XIX CICLO

Utilizzazione di biolubrificanti di origine vegetale nelle macchine e nelle apparecchiature dei settori agricolo forestale

(AGR/09)

Coordinatore: Prof. Ing. Danilo Monarca
Firma
Tutor: Prof. Ing. Maurizio Carlini
Firma

Dottorando: Ing. Sonia Castellucci
Firma

INDICE

CAPITOLO V
Sperimentazione bei biolubrificanti

INTRODUZIONE

Il primo problema da affrontare quando si studiano i biolubrificanti si ha nell'assenza di definizione univoca del termine, con il quale si intende:

- lubrificanti di origine fossile con elevate proprietà biodegradabili e non tossici;
- lubrificanti di origine vegetale.

Data questa ambiguità non si hanno dati precisi riguardanti il consumo Europeo di biolubrificanti di origine vegetale. I valori solitamente utilizzati indicano in 100.000 t il consumo di biolubrificanti in Europa, meno del 2% del mercato europeo dei lubrificanti, senza conoscere la percentuale precisa relativa al consumo di biolubrificanti di origine vegetale.

In Italia non è presente un mercato di biolubrificanti di origine vegetale, quindi per qualunque informazione si farà riferimento agli studi effettuati in Germania e in Francia, dove, anche se piccolo, esiste un mercato di lubrificanti di origine vegetale. In dettaglio in Francia di 3.500 t di biolubrificanti consumati annualmente circa 1.000 t sono di origine vegetale (Tab. 1).

Tabella 1. Stima del mercato francese di biolubrificanti nel 2003

	TOTALE VEGETALE [1] (t)	TOTALE BIODEGRADABILE (t)
Olio per catena	200	300
Olio idraulico	400	1.000
Olio motore a 2 tempi	-	500
Lavorazione dei metalli	50	200
Trivellazione petrolifera	200	500
Utilizzi vari	150	1.000
TOTALE	**1.000**	**3.500**

I lubrificanti di origine fossile sono prodotti chimici che in base alle direttive CE/1999/45 e CE/2001/58, hanno l'obbligo di etichettatura di preparati pericolosi, inoltre dal 30 luglio 2002 devono esporre sulla confezione il simbolo "N", che indica la pericolosità per l'ambiente.

[1] Queste cifre non includono gli additivi di qualsiasi natura, quali additivi trattati con acido solforico a base di olio di caffè, di colza o di lino, utilizzati nella lavorazione dei metalli, che rappresentano circa 500-600 tonnellate

La quantità di lubrificanti rilasciati nell'ambiente, a causa dell'utilizzo o delle perdite accidentali, è dell'ordine di 100.000-200.000 t/anno in Francia, 600.000 t/anno in Europa, circa il 15-20% dei lubrificanti consumati. In dettaglio in tabella 2 si riportano le quantità di perdite di lubrificanti per famiglia di applicazione, individuando le utilizzazioni con perdite totali dell'olio e quelle in cui la dispersione nell'ambiente è solo accidentale.

Tabella 2. Principali applicazioni che creano perdite di lubrificanti nell'ambiente

Famiglie di applicazione	Principali applicazioni che generano perdite nell'ambiente	Consumo 2003	Olio perduto 100%	Perdite accid.	Causa della perdita
Olio motore	Motori a due tempi	7.100 t	X		Fughe di benzina e residui di comb.
	Olio motore	344.700 t		X	Fughe accidentali
	Olio imbarcazioni	30.000 t		X	Contatto con l'acqua
Ingranaggi e trasmissione	Fluidi idraulici	103.000 t		X	Fughe del liquido sotto pressione; rottura circuiti
	Olio ingranaggi e ammortizzatori	83.000 t		X	
Lavoro dei metalli	Lavorazione industriale dei metalli	30.000 t		X	Applicazione in grande quantità
Lubrificazione generale	Strippaggio	8.000 t	X		Applicazione e pulizia dei supporti
	Rotaie delle ferrovie	850 t	X		Applicazione
	Catene di motoseghe	10.000 t	X		Contatto diretto dell'olio con il bosco
	Trivellazioni petrolifere	100.000 t	X		Lubrificazione testata della trivella

Dato l'elevato carico inquinante dei lubrificanti in Germania nel 2000 è partito il "Programma per l'introduzione dei biolubrificanti nel mercato Tedesco". Questo programma, promosso dal Governo Federale Tedesco e dal Ministero dell'agricoltura, ha lo scopo di aumentare l'uso di oli vegetali nei sistemi di lubrificazione e conta su un budget annuale di 10 milioni di Euro. Il finanziamento, previsto nella misura massima di 100.000 Euro per richiedente, coprirà: i costi di changeover fino al 100%, l'equipaggiamento di biolubrificanti su nuove macchine nei settori delle macchine per l'agricoltura e la selvicoltura, applicazioni in aree sensibili e in istallazioni

idriche. I biolubrificanti eleggibili al finanziamento devono rispettare delle caratteristiche chimico fisiche ben precise:

- contenuto di massa rinnovabile ≥ 50%;
- classe di inquinamentoacque ≤ 1 (WGK tedesco classi da 0 a 3);
- biodegradabilità ≥ 80% (CEC standard) o ≥ 60% (OECD standard);
- ammessi lubrificanti per motori, ingranaggi, impianti idraulici ed altro;
- non sono ammessi lubrificanti per catene di motoseghe, e agenti distaccanti per stampi (per tali applicazioni i biolubrificanti di origine vegatale sono comunemente utilizzati in Germania e quindi non necessitano di ulteriori forma di incentivazioni.

Un'ulteriore incentivazione alla produzione di biolubrificanti è arrivata dalla Commissione europea che ha emanato i criteri per l'assegnazione ai lubrificanti dell'etichetta ecologica europea Ecolabel, con la decisione 26 aprile 2005, n. 2005/360/CE. L'etichetta, nata nel 1992, è attualmente gestita in base al regolamento (CE) n. 1980/2000, che prevede, per ciascuna categoria di prodotto, criteri selettivi, ambientali e prestazionali, che i prodotti devono rispettare al fin di poter ottenere tale riconoscimento. Questi criteri vengono scelti sulla base di indagini di mercato e di studi di Life Cycle Assessment (LCA), dopo lunghe concertazioni tra gli stati membri e la consultazione delle parti interessate. È un processo lungo e impegnativo che, pur garantendo trasparenza e correttezza al sistema, dall'altro, ne rallenta lo sviluppo. Così dopo quasi quindici anni d'esercizio il sistema ha emanato i criteri solo per 24 categorie di prodotto (22 merci e 2 servizi). Ciò non toglie che molti produttori stiano trovando profitto nell'utilizzo dell'etichetta e che il loro numero stia crescendo sempre più velocemente; attualmente in Italia sono oltre 60 le aziende con prodotti etichettati, su circa 260 europee.

La categoria di prodotto "lubrificanti" è nuova nell'ambito dell'Ecolabel ed è stata richiesta dai rappresentanti olandesi. I criteri avranno una validità di quattro anni (31 maggio 2009); dopo questa data saranno sottoposti a revisione. Non tutti i lubrificanti sono inclusi nella decisione, ma solo alcune categorie comprendenti:

- oli idraulici;
- grassi;
- oli per motosega;
- oli per motori a due tempi;
- disarmanti per calcestruzzo;
- prodotti di lubrificazione a perdita totale.

Sono considerati gli usi sia professionali che privati e sono state, in pratica, selezionate le categorie di prodotti con un elevato impatto ambientale durante l'uso, perché destinati a perdersi nell'ambiente e non ricuperabili per la tipologia del loro utilizzo (lubrificanti a perdita totale, oli per motori a due tempi ecc.) o perché ad alto rischio di dispersione per perdite e incidenti, come nel caso degli oli idraulici. Questi criteri di scelta dei lubrificanti hanno chiaramente influito sulla caratterizzazione dei criteri ambientali, molto incentrati sugli aspetti legati al rilascio e all'ecotossicità. La finalità dichiarata dai criteri è infatti quella di promuovere prodotti che: l siano poco nocivi per l'acqua e il suolo nel loro utilizzo, e l permettano di ridurre le emissioni di CO_2.
Scopo della decisione 2005/360/CE è quello di incentivare la diffusione dei biolubrificanti. Con questo termine si intendono prodotti ad alta biodegradabilità e bassa ecotossicità e in generale «ambientalmente sostenibile». Purtroppo, non vi è una definizione univoca che ne consenta una chiara classificazione e riconoscimento; quando nacquero, vent'anni fa, infatti, erano principalmente originati da oli vegetali, mentre ora vi è la tendenza a utilizzare esteri sintetici, che possono essere in parte derivati da fonti rinnovabili. I criteri della decisione n. 2005/360/CE spingono fortemente verso un, seppur ancora piccolo, mercato di lubrificanti derivati da materie prime riciclate. Dati della Commissione del 1999 parlano di un mercato dei biolubrificanti pari al 2%. Alcuni dei criteri riportati nella decisione fanno riferimento all'intero prodotto, altri alle singole sostanze componenti (fluido di base, agente addensatore, componente principale, additivo); il limite, in quest'ultimo caso, è che i singoli componenti possano essere stati deliberatamente aggiunti e rappresentare più del 0,1% rispetto al contenuto del prodotto, sia prima che dopo eventuali reazioni chimiche

avvenute tra le sostanze mescolate per ottenere il preparato lubrificante. I criteri non vengono più applicati anche nel caso in cui, durante la fase d'uso, la sostanza perda la propria natura chimica, per cui non rientra più nella classificazione delle sostanze pericolose, conformemente alla direttiva 1999/45/CE, e per la quale meno dello 0,1% nella parte trattata conserva la forma precedente all'applicazione. I criteri sono divisi in 7 sezioni, corrispondenti ad aspetti significativi:

1. fasi di rischio "R" indicanti un pericolo per l'ambiente e per la salute umana;
2. tossicità acquatica;
3. biodegradabilità e potenziale di bioaccumulazione;
4. esclusione di specifiche sostanze;
5. materie prime riciclabili;
6. prestazioni tecniche;
7. informazioni da riportare sul prodotto assieme all'etichetta.

Capitolo I

LUBRIFICANTI

Premessa

I lubrificanti sono sostanze che interponendosi tra due superfici in movimento relativo ne impediscono il contatto diretto riducendo i fenomeni di attrito e di usura e facilitando lo scorrimento reciproco. Due componenti che strisciano l'uno contro l'altro tendono a scaldarsi e a dar luogo al grippaggio (ingranamento) del dispositivo; il lubrificante, interponendosi tra i componenti e aderendo a essi, sostituisce l'attrito tra le parti con l'attrito interno o viscosità, che è molto più modesto, e riduce il riscaldamento. La presenza dei lubrificanti migliora il rendimento di macchine e motori e, inoltre, esercita spesso un'azione raffreddante e previene la formazione di ruggine, depositi, incrostazioni.

Fondamentale è la capacità dei lubrificanti di aderire fortemente alle superfici da lubrificare, anche sotto forti pressioni; tale aderenza dipende dalla natura dei legami che si instaurano tra il lubrificante e la superficie lubrificata. Assai importante è anche la dipendenza della viscosità del lubrificante dalla temperatura; è auspicabile che la viscosità sia la stessa a tutte le temperature per garantire prestazioni costanti.

Un'importante applicazione dei lubrificanti è quella che si ha nei motori per autotrazione dove il fluido viene forzato a circolare da una pompa che lo spinge in appositi canali verso i punti da lubrificare. Esso ritorna poi dalle zone lubrificate nella coppa per essere rimesso in circolazione dalla pompa. Il sistema di lubrificazione è completato da un filtro e da un radiatore refrigerante.

Tenendo conto di tutte le possibili applicazioni si possono classificare i lubrificanti, in base al loro stato di aggregazione, in lubrificanti liquidi, pastosi e solidi.

1.1. Proprietà dei lubrificanti

Il parametro più importante è la viscosità; essa misura la resistenza opposta da un liquido alle forze che tendono a farlo scorrere ed è quindi un indice dell'attrito interno. Esistono diversi tipi di viscosità : dinamica o assoluta, cinematica , relativa.

VISCOSITÀ DINAMICA. In un liquido che scorre su una superficie piana ferma spinto da una forza F lo strato a contatto con la superficie è privo di moto mentre quello che si trova a una distanza x si muove con una velocità v . La forza necessaria per mantenere alla velocità la superficie S distante x dalla superficie solida ferma è proporzionale all'area S, al gradiente di velocità $\Delta v/ \Delta x$ e a un coefficiente η , caratteristico del fluido considerato, chiamato coefficiente di viscosità (o semplicemente viscosità). E' cioè $F = \eta S \Delta v/\Delta x$. La viscosità η è misurata in poise o in centipoise; essa può essere determinata con il viscosimetro di Mac Michael che consiste in due cilindri cavi affacciati fra i quali viene interposto il lubrificante. Uno dei due dilindri viene posto in rotazione è si misura o la forza di trascinamento che esercita sull'altro o la forza frenante che quello fermo esercita su quello in movimento.

La viscosità dinamica η compare anche nell'equazione di Poiseuille che si riferisce al moto di un volume v di liquido che defluisce nel tempo t in un capillare di lunghezza l e di raggio r in presenza di una differenza di pressione p esistente agli estremi del capillare. E' $v = \pi p r^4 t / 8\eta l$. .Essa può essere determinata con il viscosimetro di Ostwald che consiste in un tubo capillare che collega due piccoli contenitori. Il lubrificante viene aspirato nel recipiente superiore e poi si misura il tempo che un determinato volume impiega per scendere in quello inferiore. Si confronta il tempo con quello impiegato da un liquido di viscosità e densità note; si ha $\eta_1/ \eta_2 = t_1 d_1 / t_2 d_2$.

In campo autoveicolistico è comunemente usata una viscosità (in secondi) Saybolt che corrisponde ai secondi che, alla temperatura di prova, 60 cm^3 di olio impiegano a uscire dal viscosimetro standardizzato di Saybolt. Sui valori a -17,8°C (= 0°Fahrenheit) e a 98,9 °C (=210°F) della viscosità è basata la classificazione degli oli lubrificanti per motori SAE (Society of Automotive Engineers)

La classificazione SAE prevedeva nel passato lubrificanti contrassegnati dalle sigle 10W , 20W , 30W (W = winter) a seconda che fossero idonei a temperature basse, medie, alte. Gli attuali oli multigrado hanno sigle del tipo SAE10W30 oppure SAE15W40 per indicare che a basse temperature si comportano come i vecchi lubrificanti SAE10 e SAE15 e ad alte temprature come quelli SAEW30 e SAEW40 .

La viscosità dinamica η compare anche nell'equazione di Stokes che dà la velocità di caduta v di una sfera di densità d_2 e di raggio r in un lubrificante di densità d_1 e viscosità η .

É $v = 2g(d_2 - d_1) r^2 / \eta$, dove g è l'accelerazione di gravità. Su questa formula è basato il viscosimetro di Hoppler che consiste in un tubo trasparente inclinato riempito di lubrificante con densità d_1 nel quale viene inserita una sfera di acciaio di densità d_2 , cronometrandone poi il tempo t di caduta. É $\eta = kt(d_2 - d_1)$, dove k è una costante caratteristica dell'apparecchio di misura.

VISCOSITÀ CINEMATICA. Talvolta, in luogo della viscosità dinamica, si ricorre alla viscosità cinematica ν ; essa è data dal rapporto tra la viscosità dinamica η e la massa volumica (o densità). E' cioè $\nu = \eta/d$. L'unità di misura della viscosità cinematica è lo stokes o il centistokes.

VISCOSITÀ RELATIVA. La viscosità relativa di un lubrificante deriva dal confronto con la viscosità dell'acqua alla stessa temperatura. Si tratta di un numero adimensionale corrispondente al rapporto tra il tempo di efflusso del lubrificante e quello di un ugual volume di acqua attraverso un foro sottile praticato sul fondo di un contenitore. L'apparecchio si chiama viscosimetro di Engler e dà la viscosità in gradi Engler, E°.

FLUIDITÀ. Il termine viene talvolta impiegato quando sono preminenti i problemi di natura reologica. La fluidità φ è il reciproco della viscosità dinamica. E' cioè $\varphi = 1/\eta = 1/\nu d$ (η = viscosità dinamica; ν = viscosità cinematica; d = densità).

INDICE DI VISCOSITÀ. E' un numero pratico che serve a quantificare in che misura la viscosità di un lubrificante è influenzata da variazioni di temperatura. L'indice di viscosità è alto quando la viscosità varia poco con la temperatura. Per valutarlo si confronta l'olio in esame (vedi Fig 1), con due oli campione con uguale viscosità a 98,9°C, ma

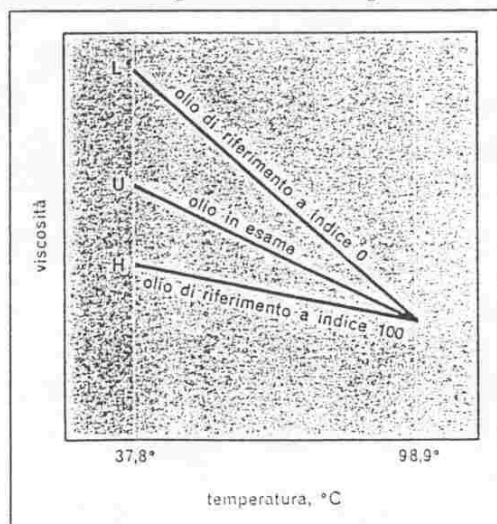



Fig. 1 Diagramma rappresentativo del metodo ASTM D 2270-64 per il calcolo dell'indice di viscosità di un lubrificante. L ed H sono le viscosità a 37,8° di due olii di riferimento per i quali si assumono rispettivamente indici 0 e 100; U è la viscosità a 37,8° dell'olio in esame. Da questi valori si ricava l'indice di viscosità dell'olio in esame mediante la formula: $[(L-U)/(L-H)]\times 100$.

con viscosità molto diverse a bassa temperatura, dando indice 100 all'olio con viscosità che varia poco alle basse temperature e indice 0 a quello che presenta maggiori variazioni. L'indice di viscosità (I.V.) si ottiene dalla relazione :

$$I.V. = (L - U).100 / L - H$$

dove L , H e U sono le viscosità a 37,8°C.

DENSITÀ O MASSA VOLUMICA. E' un parametro indicativo della costituzione del lubrificante; la densità è bassa, a parità di viscosità, per i prodotti paraffinici e più alta per quelli aromatici o cicloparaffinici; per uno stesso tipo aumenta con la viscosità e diminuisce all'aumentare dell'indice di viscosità. La densità può essere espressa oltre che come la massa per unità di volume (e vale allora 0,86 – 0,89 g/cm^3), anche come rapporto tra la massa di un dato volume di lubrificante a 15,6°C e la massa di un ugual volume di acqua (peso specifico a 15,6°/15,6°) , oppure come densità API (American Petroleum Institute).

E' densità API = 141,5 / peso specifico a 15,6°/15,6° - 131,5.

PUNTO DI INFIAMMABILITÀ. È la temperatura alla quale , a seguito della presenza di prodotti infiammabili presenti, una fiammella provoca l'accensione della superficie del lubrificante. Nei lubrificanti nuovi varia da 130° a 300 °C e dipende dalla viscosità e dalla presenza di additivi.

PUNTO DI INTORBIDAMENTO. È la temperatura alla quale il lubrificante comincia a perdere di trasparenza a causa della comparsa di particelle solide di paraffina.

PUNTO DI SCORRIMENTO. È la temperatura alla quale l'olio lubrificante mostra ancora una certa scorrevolezza in particolari condizioni operative. Essa precede di 3°C la temperatura alla quale il lubrificante è praticamente tutto solidificato. Si hanno temperature di scorrimento alte se i lubrificanti sono ricchi in idrocarburi paraffinici e basse se predominano quelli cicloparaffinici.

STABILITÀ TERMICA. Indica la resistenza di un lubrificante a modificarsi a causa di aumenti di temperatura che provocano la rottura delle grosse molecole in frammenti più piccoli a elevata tensione di vapore. Le temperature di decomposizione variano attorno ai 330°–340 °C , ma possono differire significativamente a seconda che sia o meno presente l'ossigeno. Come indicazione di carattere generale si può precisare che negli autoveicoli la temperatura nella coppa dell'olio è vicina a 100°C e che per tempi brevi in alcuni punti del motore la temperatura del lubrificante può raggiungere i 300°C.

CALORE SPECIFICO E CONDUCIBILITÀ TERMICA. Sono parametri importanti quando i lubrificanti esplicano anche un'azione refrigerante. Il calore specifico aumenta con la temperatura mentre la conducibilità termica diminuisce all'aumentare sia della temperatura sia della viscosità. L'ordine di grandezza del calore specifico è di 1,4 –1,5 $J.g^{-1}.°C^{-1}$ e quello della conducibilità termica di 0,12 – 0,14 $W.m^{-1}.°C^{-1}$.

1.2. Additivi per lubrificanti.

Gli additivi sono componenti degli oli lubrificanti organizzati in miscele complesse (pacchetti) che unite al mix di basi permettono di raggiungere il livello prestazionale richiesto. L'interazione tra i vari additivi può essere sinergica o antagonista: lo studio di tali interazioni è la base per l'acquisizione del know-how per la realizzazione del lubrificante richiesto. Gli additivi possono essere classificati in base al fatto che:

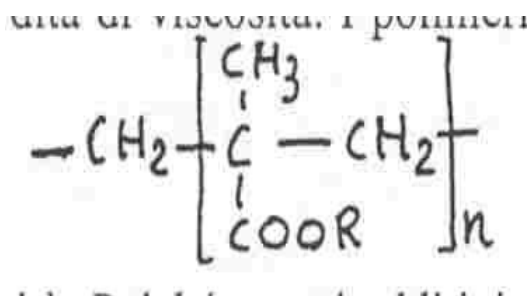
- migliorano le caratteristiche intrinseche delle basi (modificatori dell'Indice di Viscosità, miglioratori del punto di scorrimento, antischiuma/disemulganti);
- impartiscono nuove proprietà (antiusura/EP, detergenti, disperdenti, anticorrosivi);

- allungano la vita del lubrificante (antiossidanti).

Additivi detergenti . Sono prodotti che tendono a limitare la formazione di sostanze non solubili nei lubrificanti, derivanti dai prodotti della combustione o dall'alterazione dei lubrificanti, che si verifica nel funzionamento a caldo dei motori. Nello strato di olio che ricopre le superfici del cilindro si possono formare morchie che devono essere rimosse.

Additivi disperdenti. Sono prodotti complementari a quelli detergenti che hanno la funzione di mantenere i prodotti insolubili derivanti dal funzionamento del motore sospesi nel lubrificante sotto forma di dispersione finissima.

Additivi antiossidanti. Poiché i lubrificanti sono esposti in esercizio all'azione dell'ossigeno, dell'alta temperatura, dell'umidità, di metalli pesanti occorre proteggerli dall'alterazione ossidativa che porta alla formazione di prodotti di natura acida e di morchie.

Additivi miglioratori dell'indice di viscosità. Sono sostanze che aggiunte ai lubrificanti diminuiscono la dipendenza della viscosità dalla temperatura. Si impiegano a questo fine macromolecole polimeriche che a freddo sono arrotolate su se stesse, con una piccola superficie di contatto con il lubrificante. A caldo, quando la viscosità tende a diminuire, le molecole si srotolano e instaurano con il lubrificante legami secondari che consentono quest'ultimo di limitare notevolmente la perdita di viscosità. I polimeri impiegati a questo fine appartengono alla famiglia dei polimetacrilati;

la natura del radicale R determina l'influenza sull'indice di viscosità. Poiché questi additivi miglioratori fanno aumentare anche la viscosità del lubrificante è necessario che il lubrificante di partenza sia poco viscoso. Il ricorso ad additivi di questo tipo ha consentito la produzione di lubrificanti

che appartengono a più di una gradazione di viscosità SAE ; questi lubrificanti, che si chiamano multigrado od oli quattro stagioni, presentano una viscosità relativamente modesta a freddo e relativamente alta a caldo e quindi consentono di non ricorrere all'impiego di lubrificanti differenti d'inverno e d'estate.

Additivi che abbassano il punto di scorrimento. Alte temperature di scorrimento sono dovute alla presenza di idrocarburi paraffinici che solidificano a temperature relativamente elevate, provocando forti resistenze allo scorrimento. Questi idrocarburi vengono in buona parte eliminati dai lubrificanti; la frazione superstite viene neutralizzata dall'aggiunta di additivi che trasformano i solidi paraffinici a struttura tabulare in microparticelle che, a causa delle ridotte dimensioni e della morfologia sferica, non impediscono lo scorrimento del lubrificante.

Additivi che modificano l'attrito e l'usura. Vi sono dispositivi nei quali è difficile garantire uno strato continuo di lubrificante. Le conseguenze possono essere l'irreparabile saldarsi delle superfici in movimento relativo oppure la lenta e continua asportazione di materiale. Si aggiungono allora additivi untuosanti costituiti da acidi grassi, da esteri di acidi grassi, da ammine, da nitrili. Sono tutti prodotti caratterizzati da molecole con una parte oleosolubile, rivolta verso il lubrificante, e con una parte contenente raggruppamenti chimici a forte polarità che si ancorano sulle superfici da lubrificare rendendo difficile il loro allontanamento e garantendo così la lubrificazione. Nel caso di dispositivi in cui le parti sono mantenute a contatto sotto carichi molto forti si impiegano gli additivi per pressioni estreme realizzati con prodotti organici oleosolubili contenenti elementi fortemente elettronegativi come Cl , S , P . Questi si ancorano sulle superfici è in particolari condizioni possono decomporsi formando pellicole di cloruri, di solfuri, di combinazioni fosforate, caratterizzate da basi coefficienti di attrito e alti punti di fusione, che permangono anche a temperature relativamente elevate. Analogamente in alcuni processi di formatura dei metalli nei quali occorre lubrificare gli stampi dove avviene la deformazione dei semilavorati e nei quali le pressioni richieste sono troppo elevate per garantire la presenza di uno strato di olio, si usano oli per

lubrificazione limite a base di acidi grassi in grado di reagire con le superfici metalliche per formare uno strato superficiale di sapone molto tenace.

Additivi anticorrosione e antiruggine . Sono sostanze che vengono aggiunte per preservare i motori durante l'immagazzinamento o le soste proteggendoli dalla corrosione dovuta ai prodotti acidi della combustione e dall'arrugginimento provocato dall'azione combinata di umidità e ossigeno atmosferico. L'azione necessaria può anche essere espletata dagli additivi antiossidanti o antiusura.

1.3. Lubrificanti liquidi

La classe più importante è costituita dai lubrificanti petroliferi, costituiti da miscele di idrocarburi provenienti dalle frazioni altobollenti del petrolio. Si ricavano distillando a pressione ridotta , circa 1/20 di atmosfera, i residui della distillazione del petrolio grezzo, raffinando le frazioni distillate mediante estrazione con solventi (propano liquido, fenolo C_6H_5-OH. p.cresolo CH_3-C_6H_5-OH) che sciolgono le frazioni lubrificanti, ma non gli idrocarburi poliaromatici, i composti eterociclici, gli asfalti ed eliminando le paraffine ad alto punto di fusione.

I lubrificanti liquidi petroliferi risultano costituiti da idrocarburi con peso molecolare che varia da 150 a 1000 , di tipo saturo oppure di tipo aromatico o cicloparaffinico con catene laterali contenenti da 7 a 20 atomi di carbonio. Opportunamente additivati sono in grado di garantire eccellenti proprietà lubrificanti, stabilità termica, resistenza all'ossidazione, idonee proprietà reologiche (ossia legate alla viscosità dell'olio). Per impieghi particolari si possono utilizzare lubrificanti sintetici. Le categorie di lubrificanti liquidi che più interessano in questa trattazione risultano essere:

- olio motore;
- oli per la trasmissione;
- oli idraulici.

Olio motore

In un motore 4 tempi l'olio deve "aiutare" in misura sostanziale i segmenti a fare una buona tenuta; deve inoltre assicurare una valida protezione delle superfici metalliche nei confronti della corrosione e deve contribuire a

mantenere puliti i componenti con i quali entra in contatto. Infine, cosa non meno importante, esso deve contribuire in misura considerevole al raffreddamento del motore.

Per quanto riguarda invece i motori a due tempi il lubrificante viene miscelato direttamente con la benzina ed alimentato al serbatoio.

Gli oli motore devono essere adeguati alle diverse esigenze di lubrificazione derivanti dalle condizioni di funzionamento e pertanto si differenziano, anche notevolmente, come caratteristiche e prestazioni.

Per distinguere questi oli è quindi necessario ricorrere ad opportuni sistemi di classificazione.

I sistemi di classificazione più usati sono quelli basati sulla viscosità, sulle condizioni di esercizio e sulle prestazioni.

Classificazione in base alla viscosità (SAE): per stabilire una differenziazione degli oli lubrificanti secondo la loro viscosità ci si riferisce alla classifica SAE (Society of Automotive Engineers). Essa stabilisce che gli oli vengano raggruppati in diverse classi o gradazioni. Ciascuna classe viene contraddistinta da un numero convenzionale e indica oli che rientrano in determinati limiti di viscosità. La classificazione è schematizzata nella tabella 1.1: in essa sono riportati gli intervalli di viscosità di ciascuna gradazione alle temperature di riferimento stabilite dalla SAE.

Tali temperature riproducono due condizioni estreme che si possono verificare nel funzionamento dei motori:

- ✓ a freddo (—18°C), in fase di avviamento in climi particolarmente rigidi;
- ✓ a caldo (100°C), nel funzionamento a regime dei motori. Questa temperatura, scelta originariamente come rappresentativa delle temperature dell'olio nella coppa durante il funzionamento a regime, è tuttora valida per definire le gradazioni SAE; tuttavia bisogna tener presente che, con il progredire della tecnica motoristica, attualmente le temperature dell'olio nella coppa possono raggiungere valori sensibilmente superiori (fino ed oltre 150°C).

Tabella 1.1. Classificazione SAE per gli oli motore

Gradazione SAE	Unità di misura della viscosità		Intervallo di viscosità		
			— 18° C	100°C	
			Massima	Minima	Massima
5W	Centipoises Centistokes	cP cSt	1250 —	— 3,8	— —
10W		cP cSt	2500 —	— 4,1	— —
(*) 20W		cP cSt	10000 —	— 5,6	— —
20		cSt	—	5,6	9,3
30		cSt	—	9,3	12,5
40		cSt	—	12,5	16,3
50		cSt	—	16,3	21,9

(*) Gli oli con viscosità a -18°C inferiore a 5000 cP possono essere designati 15W.

I numeri convenzionali delle gradazioni SAE, definite alla temperatura di -18°C sono seguiti dalla lettera W, iniziale della parola inglese " winter " (inverno), per indicare appunto le condizioni climatiche nelle quali tali oli sono chiamati a lavorare. In tabella 1.2 si ha la proposta di nuova classificazione SAE per gli oli motore.

Classificazione in base alle condizioni di esercizio ed alle prestazioni

La classificazione SAE, fondata sulla viscosità, non risponde alla esigenza di definire il livello qualitativo e la idoneità dei singoli prodotti ad essere impiegati in condizioni di esercizio diverse. Si è resa quindi necessaria l'introduzione di altri sistemi di classificazione, quali le classificazioni API.

La prima classificazione fu presentata nel 1947 dall'American Petroleum Institute (API), che definì tre tipi di olio motore in base alla loro additivazione. Essi erano: Regular, Premium, Heavy Duty (HD).

In linea generale gli oli del tipo Regular erano minerali puri, quelli tipo Premium contenevano inibitori di ossidazione e quelli Heavy Duty (HD) contenevano inibitori di ossidazione e limitate quantità di additivi detergenti-disperdenti.

Le denominazioni Premium ed HD sono ancora impiegate, ma con significato diverso da quello che avevano in origine: Premium indica genericamente un prodotto di buona qualità mentre HD contraddistingue gli oli con alte proprietà detergenti-disperdenti. Questa classificazione non teneva conto delle differenti esigenze di lubrificazione dei motori a benzina e di quelli Diesel; inoltre non prendeva in considerazione le diverse condizioni di funzionamento dei motori. Per tali ragioni sia i costruttori di motori che i produttori di olio riconobbero che essa era del tutto inadeguata.
Di conseguenza l'API, con la cooperazione dell'American Society for Testing and Materiais (ASTM) sviluppò nel 1952 un nuovo sistema di classificazione; detto sistema fu revisionato nel 1955 ed ancora nel 1960.
La seconda classificazione API descriveva le condizioni di servizio dei motori. Essa prevedeva tre servizi diversi per i motori a benzina (ML, MM, MS) e tre per i motori Diesel (DG, DM, DS), i servizi sono descritti nella tab. 1.3.
Questo sistema non dava indicazioni sulle caratteristiche che un olio doveva possedere per essere incluso nelle singole classi; di conseguenza esisteva un largo margine di discrezionalità nell'indicare la rispondenza di un prodotto ai vari tipi di servizio.
Per evitare tale indeterminatezza tre grandi case automobilistiche americane, la General Motors, la Ford e la Chrysler, si accordarono nel 1957 per mettere a punto metodi di prova su motori a benzina di loro produzione che esprimessero in termini quantitativi i requisiti che un olio doveva avere per essere qualificato idoneo al servizio MS.
I metodi di prova, ufficializzati con la denominazione di sequenze MS, erano originariamente in numero di cinque, indicati con i numeri romani I, II, III, IV e V. Subirono in seguito successive modifiche per cui attualmente sono ridotti a tre. Per quanto riguarda i lubrificanti per motori Diesel, non essendosi raggiunto l'accordo sui metodi di prova da adottare, invalse l'uso di considerare idonei ai servizi DG, DM e DS gli oli che rispondevano alle seguenti specifiche:

- ✓ Servizio DG: Specifica MIL-L-2104 A dell'USA Departement of thè Army o specifica Militare Britannica DEF-2101-C.

Tabella 1.3. Seconda classificazione API.

Motori a benzina		Motori Diesel	
Sigla	Tipo di Servizio	Sigla	Tipo di Servizio
ML	Funzionamento a velocità, potenze e temperature moderate. Motori non severi verso la formazione di depositi, corrosione, usure.	**DG**	Condizioni di esercizio poco gravose, limitate velocità, percorsi pianeggianti. Motori con scarsa tendenza alla formazione di depositi ed alla corrosione.
MM	Funzionamento a velocità, carichi e temperature relativamente elevate. Motori non severi per quanto riguarda formazione di depositi e corrosione.	**DM**	Condizioni di esercizio relativemente severe sia per la velocità, i carichi e le temperature, sia per il contenuto di zolfo del combustibile.
MS	Servizio molto severo corrispondente ad una marcia stop and go ed a marcia autostradale.	**DS**	Condizioni di esercizio molto severe; impiego di carburanti ad elevato tenore di zolfo; motori molto severi, in particolare se sovralimentati.

- ✓ Servizio DM; Specifica U.S. Army 2-104B Supplement 1, o MIL-L-2104 B, o DEF-2101-D.
- ✓ Servizio DS: Specifica MIL-L-45199 B, o Caterpillar Superior Lubricant Series 3.

La seconda classificazione API era già un grande passo in avanti rispetto alla precedente, ma, come abbiamo visto non stabiliva quali dovessero essere le prestazioni dell'olio per essere idoneo ai diversi servizi. Si era

creata inoltre la necessità di un sistema più flessibile, aperto cioè ai prodotti più avanzati che, come era prevedibile, sarebbero stati formulati successivamente alla sua definizione.
Per tali ragioni, nel biennio 1969-1970 l'API, l'ASTM e la SAE cooperarono per mettere a punto una classificazione completamente nuova.
La SAE stabilì che dovevano essere considerate otto categorie di oli motore di interesse commerciale. Da parte sua l'ASTM stabilì i metodi di prova e le prestazioni per ciascuna delle otto categorie. L'API invece preparò un linguaggio d'impiego, introducendo nuove sigle per ciascuna delle diverse condizioni di esercizio.
Il nuovo sistema di classificazione ha permesso di definire o distinguere con migliore precisione gli oli motore in base alle loro prestazioni e di correlare più facilmente ciascun, olio al tipo di servizio per il quale è stato studiato.
La più recente versione della nuova classificazione API comprende dieci tipi di servizio, sei per motori a benzina e quattro per motori Diesel.
Le sigle dei diversi servizi sono formate da due lettere, delle quali la prima indica se l'olio è destinato a motori a benzina (lettera S) o a motori Diesel (lettera C) mentre la seconda è ottenuta dalla successione delle lettere dell'alfabeto. Si hanno quindi rispettivamente le due serie di sigle SA, SB, SC, SD, SE, SF e CA, CB, CC, CD.
Nelle tabella 1.4 è riassunta l'attuale classificazione API con le descrizioni dei servizi, le specifiche militari e civili corrispondenti e le prove motoristiche che devono essere superate per ogni servizio.
Per ciascun servizio è riportata anche la sigla corrispondente della seconda classifica API.

Olio per trasmissione

Per questo tipo di oli rimangono importanti le funzioni di asportazione del calore generato per attrito e le caratteristiche di protezione delle superfici metalliche, inoltre questi oli utilizzati per cambi di velocità, differenziali e/o riduttori devono possedere ulteriori proprietà:

- ✓ una elevata stabilità all’ossidazione adeguata a lunghi periodi di esercizio pur in presenza, solitamente, di temperature di funzionamento inferiori a quelle degli oli motore;

- ✓ avere incrementate caratteristiche antischiuma, per contrastare la violenta agitazione prodotta dagli ingranaggi nel bagno d'olio;
- ✓ proprietà antiruggine, per proteggere le superfici metalliche anche dall'azione importante dovuta all'umidità atmosferica.

Tabella 1.4. Classificazione API per oli per motori a benzina

Simboli nuova classificazione API	Descrizione dei servizi	Simboli precedente classificazione API
SA	Servizio tipico dei motori operanti in condizioni così leggere che non è richiesta la protezione fornita da oli additivati.	ML
SB	Servizio tipico dei motori operanti in condizioni leggere tali da richiedere una protezione molto limitata quale quella ottenibile con una minima additivazione. Gli oli indicati per questo servizio sono in uso dal 1930 e forniscono unicamente protezione dall'usura, potere antiossidante, anticorrosione.	MM
SC	Servizio tipico dei motori a benzina prodotti nel periodo 1964-67 operanti nelle condizioni di garanzia dei costruttori valide in quel periodo. Gli oli previsti per questo servizio sono in grado di controllare e limitare la formazione dei depositi ad alta temperatura, l'usura, la ruggine e la corrosione.	MS
SD	Servizio tipico dei motori a benzina prodotti dal 1968 al 1970 ed operanti nelle condizioni di garanzia dei costruttori. Vale anche per alcuni modelli del 1971 e anni successivi purché sia prescritto nel libretto di manutenzione. Gli oli prescritti per questo servizio impartiscono una migliore protezione contro la formazione di depositi a bassa ed alta temperatura, contro l'usura, la ruggine e la corrosione rispetto a quelli relativi al servizio SC.	MS (1968)
SE	Servizio tipico dei motori a benzina prodotti nel 1972 ed alcuni nel 1971 operanti nelle condizioni di garanzia dei costruttori. Gli oli di questo tipo impartiscono una migliore protezione contro l'ossidazione, la formazione di depositi ad alta temperatura, ruggine e corrosione rispetto a oli relativi ai servizi SD e SC.	
SF	Servizio tipico dei motori a benzina prodotti a partire dal 1980 operanti nelle condizioni di manutenzione prescritte dai costruttori. Gli oli sviluppati per questo servizio presentano una maggiore stabilità all'ossidazione e migliori proprietà antiusura in confronto agli oli designati per il servizio SE. Questi oli inoltre, forniscono protezione contro la formazione di depositi, ruggine e contro la corrosione. Oli rispondenti alla classifica SF possono essere raccomandati in luogo di quelli SE, SD o SC.	

Olio idraulico

In alcuni tipi di trasmissioni (ad esempio quelle automatiche) un lubrificante deve poter funzionare come fluido idraulico, trasmettendo potenza con prontezza attraverso convertitori di coppia o giunti idraulici, e deve

mantenere corretti coefficienti di attrito nel tempo tra i dischi frizione, per assicurare cambiate dolci e lineari. La caratteristica però più importante che un lubrificante deve possedere nel campo delle trasmissioni (in particolar modo in quelle più sollecitate dotate eventualmente di ingranaggi ipoidi) è la capacità di sopportare i carichi elevati che si generano abitualmente tra i denti in presa. L'ottenimento di queste prestazioni avviene tramite additivi che hanno elevata reattività chimica con i materiali ferrosi: tali additivi devono però essere selezionati accuratamente per non presentare (cosa non rara) reattività di tipo corrosivo nei confronti di alcune leghe metalliche.

1.4. Oli sintetici

Gli oli sintetici derivano, come suggerisce il nome, da processi di sintesi chimica. A seconda del tipo di processo chimico, si ottengono basi sintetiche di diversa natura e con diverse caratteristiche. Le principali famiglie sono: poliolefine, idrogenati o hydrocracked, poliisobuteni, esteri e poliglicoli. Nel settore autotrazione, vengono impiegati in larga misura le poliolefine e gli hydrocracked; esteri e poliisobuteni sono impiegati in maggioranza nella formulazione di oli due tempi, mentre con i poliglicoli si producono oli industriali e fluidi freni.

Si tratta di prodotti di origine petrolifera profondamente modificati e costituiti da molecole selezionate che presentano viscosità pochissimo dipendente dalla temperatura, scarsa tendenza all'evaporazione, resistenza alle alte temperature.

Dal punto di vista delle prestazioni, rispetto agli oli minerali, gli oli sintetici sono più scorrevoli alle basse temperature, più stabili alle alte e presentano una maggiore resistenza alla degradazione chimica.

I vantaggi dati dall'utilizzo di lubrificanti sintetici sono indiscutibili; avviamenti del motore più rapidi, migliori prestazioni del motore in termini di potenza, consumi d'olio ed emissioni, maggiore protezione della meccanica e minori consumi d'olio.

Questi lubrificanti garantiscono costanza di prestazioni dei lubrificanti per autoveicoli anche dopo percorrenze dell'ordine di 20,000 – 30.000 chilometri.

In altri casi si impiegano lubrificanti a base non di idrocarburi, ma di esteri che presentano un campo di temperature di impiego più ampio di quello degli oli minerali e che vengono usati nei motori degli aviogetti.
Un'altra categoria di lubrificanti sintetici è quella dei poliglicoli, es. il glicole polipropilenico, solubili nell'acqua e negli idrocarburi con i quali è possibile preparare lubrificanti acquosi da impiegare dove esiste pericolo di incendi.

1.5. Lubrificanti pastosi e solidi

Lubrificanti pastosi

Sono costituiti da sostanze di origine animale, vegetale o minerale di consistenza semisolida. I più importanti sono i *grassi minerali lubrificanti*, ottenuti mescolando agli oli minerali un addensante costituito da saponi di metalli pesanti (piombo), alcalini (sodio, litio), alcalino-terrosi (calcio). Oltre a esplicare l'azione lubrificante, proteggono le parti in movimento da sostanze estranee, come la polvere e la ruggine , e dall'acqua.
La loro consistenza ne consente l'adesione alle superfici da lubrificare, anche se verticali, senza l'aiuto di costosi sistemi di tenuta, impedendo l'ingresso di povere e umidità. L'agente ispessente è costituito da saponi formati da sali di Li, Na, Ca, Al degli acidi oleico, stearico, palmitico per impieghi a temperature inferiori a 200°C e da sostanze solide ad alto punto di fusione quali argilla, silice, ammidi aromatiche per impieghi a temperature superiori. Per ampliare l'impiego alle basse e alle alte temperature i saponi possono essere sostituiti da oli sintetici, siliconi, esteri, fluoroderivati, tutti a bassa volatilità.
Nei grassi ispessiti con saponi, l'ispessente è sotto forma di fibre lunghe da 1 a 100 μm con diametri di 1/10 – 1/100 della loro lunghezza. Queste fibre ispessiscono il lubrificante formando una struttura reticolare che trattiene capillarmente l'olio. Quando i grassi sono fortemente sollecitati oltre una soglia limite si ha la rottura della struttura reticolare e la viscosità crolla al valore di quella del lubrificante liquido. Tale variazione è reversibile e la struttura reticolare si ripristina quando la sollecitazione diminuisce d'intensità. Nella più importante applicazione dei grassi lubrificanti, che concerne i cuscinetti a sfera o a rulli, la sollecitazione di

taglio fra le parti in movimento relativo è molto forte. Il grasso sembra non rammollire in quanto in buona parte è lontano dalle superfici da lubrificare; la frazione che si trova su tali superfici si trasforma invece in un materiale molto molle e oleoso con ottime proprietà lubrificanti.

Lubrificanti solidi

Sono costituiti da minerali a struttura lamellare che permette loro di sfaldarsi e di aderire alle superfici. Si usano quando le temperature di esercizio superano i 200 °C o quando la parte da lubrificare è accessibile con difficoltà.

Si comportano in questo modo la grafite, il talco ($3MgO.4SiO_2.H_2O$), il disolfuro di molibdeno (MoS_2), il nitruro di boro (BN). Un problema importante nell'uso dei lubrificanti solidi è il mantenimento di uno strato sufficiente tra le superfici a contatto. Se vengono applicati in sospensione in un fluido tendono a depositarsi senza raggiungere la zona da lubrificare; se vengono applicati sotto forma di pasta per contrastarne la precipitazione è difficile forzarli negli spazi stretti tra le superfici da lubrificare. Inoltre alcuni prodotti come la grafite e il MoS_2 si ossidano molto rapidamente all'aria a temperature superiori a 400°C e devono essere sostituiti da altri lubrificanti solidi, se non può essere evitato il contatto con l'ossigeno.

Capitolo II

OLI VEGETALI

Premessa

Gli oli vegetali sono sostanze grasse contenute, in percentuali variabili, nei semi o nei frutti delle piante, quelli maggiormente utilizzati industrialmente per scopi alimentari provengono dai semi di arachide, girasole, soia, sesamo, colza e ravizzone, cotone e dai frutti di palma, olivo e cocco.
I semi oleosi sono solitamente formati da un guscio privo di sostanze grasse e da una mandorla contenente i colitedoni, l'albume e l'embrione o germe; solitamente si sfrutta tutto il seme per ricavarne la parte grassa.
I frutti oleosi possiedono una polpa che circonda il nocciolo, all'interno del nocciolo è situata la mandorla. La sostanza grassa può essere ricavata dalla lavorazione di tutto il frutto (olio di oliva) o trattando separatamente la polpa (olio di palma) o la mandorla (olio di palmisti). I frutti oleosi tendono a deteriorarsi rapidamente poiché contengono lipasi, enzimi in grado di scindere i grassi.
Ogni specie oleaginosa produce un olio con caratteristiche specifiche alcune delle quali ne influenzano le modalità di utilizzo, si hanno, però, delle proprietà comuni: elevata viscosità, minor potere calorifico rispetto agli oli minerali, basso numero di cetano , bassa distillabilità a pressione atmosferica.

2.1 Caratteristiche degli oli vegetali

Consideriamo più dettagliatamente le caratteristiche degli oli vegetali :

Acidità totale: si esprime in milligrammi di idrossido di potassio (KOH) necessari per neutralizzare tutti gli acidi grassi presenti in un grammo di olio; è diversa a seconda che si tratti di olio grezzo o raffinato, nel primo caso si ha acidità di 3 mg KOH/g, nel secondo di 1 mg KOH/g. Questo è un

indice molto importante, infatti, gli acidi grassi liberi sono molto suscettibili all'ossidazione (rispetto ai corrispondenti legati), in più ad alte temperature formano sali con il metallo e quindi possono danneggiare il motore o i serbatoi di stoccaggio.

Contenuto di fosforo: gli oli vegetali contengono fosfolipidi che possono assorbire umidità dall'aria e formare gomme insolubili nei serbatoi, nelle tubazioni e nei filtri; in più il fosforo causa un aumento dell'indice carbonioso "Conradson" con conseguenti deposizioni, nella camera di combustione, quando si utilizza olio come combustibile. Il contenuto di fosforo varia da olio a olio (olio di girasole ha un contenuto di fosfatidi pari a circa lo 0,5%, mentre per l'olio di soia si aggira attorno allo 0,2%) e per uno stesso olio varia in base al grado di raffinazione (gli oli raffinati hanno un contenuto in fosforo inferiore a 10ppm, mentre un olio grezzo ne contiene circa 180 ppm).

Distillazione: la curva di distillazione degli oli grezzi è sensibilmente più alta di quella del gasolio: inizia a 310-360 ^{o}C (160-200 ^{o}C per il gasolio), e termina a 880-890 ^{o}C (meno di 400 ^{o}C per il gasolio). A causa delle alte temperature di inizio ebollizione, si preferisce distillare gli olio sotto vuoto spinto in modo da diminuire notevolmente la temperatura della colonna di distillazione.

Massa volumica: in media si ha 0,91 kg/dm^3 a T=20 ^{o}C, ma varia in funzione della specie oleaginosa, e della temperatura di misurazione.

Numero di cetano: indica il comportamento all'accensione di un combustibile, ossia, più è alto il suo valore e maggiore è la prontezza del combustibile all'accensione. Il gasolio ha un numero di cetano medio pari a 48, mentre per gli oli grezzi varia tra 30-40, in funzione del grado di saturazione, di raffinazione e della lunghezza della catena degli acidi grassi, ad esempio una lunga catena di acidi grassi con 3-5 doppi legami necessita di elevate temperature per vaporizzare e quindi di un lungo tempo per accensione. Il numero di cetano di un olio grezzo è tale da consentire

utilizzo in motori molto vecchi, infatti nei motori moderni, che necessitano di combustibili con ottima autoaccensione, l'olio tal quale si dimostra inadatto.

Numero di iodio: indica il grado di insaturazione dell'olio; il termine insaturo si riferisce alla presenza di doppi legami tra atomi di carbonio che non sono completamente saturati da atomi di idrogeno. Questo indice si esprime in grammi di iodio che reagiscono in 100 g di prodotto analizzato, più è alto l'indice e maggiore è il grado di insaturazione.

Potere calorifico: se misurato sulla massa è mediamente inferiore del 15-20% rispetto al gasolio, mentre se misurato sui volumi la differenza scende al 10-11%. Gli oli vegetali sono i combustibili liquidi aventi, tra tutti i combustibili rinnovabili la maggior "densità energetica": ad esempio, a pari volume l'etanolo ha un potere calorifico più basso del 40% . Per gli oli grezzi i valori si aggirano attorno a 36-37 MJ/kg e 34 MJ/dm^3.

Punto di fusione: alcuni tipi di oli vegetali solidificano già a 10-15 ^oC; altri, soprattutto quelli ad elevato numero di acidi grassi insaturi, mantengono il loro stato liquido fino a temperature attorno a zero gradi, mostrando però un'elevata viscosità.

Punto di infiammabilità(flash point): indica la temperatura minima alla quale i vapori di un combustibile si accendono in presenza di fiamma; più è alto il punto di infiammabilità e tanto più sicuro è lo stoccaggio, il trasporto e la manipolazione del prodotto. Per gli oli si ha un valore medio di flash point attorno ai 300 ^oC, mentre per il gasolio circa 60-73 ^oC. Questa notevole differenza può essere attribuita alla maggiore lunghezza della catena carboniosa e al grado di insaturazione dell'olio.

Punto di intorbidamento e di scorrimento: in molti oli questi due valori sono più alti rispetto al gasolio, ad esempio nell'olio grezzo di girasole il primo è di –8 ^oC e il secondo –15 ^oC, mentre il gasolio a pari condizioni fa registrare –9 ^oC e –18.5 ^oC rispettivamente.

Stabilità all'ossidazione: l'ossidazione in un olio aumenta la sua viscosità e ne degrada l'aroma; nel tempo un olio ossidato tende a depositare gomme e cere nei serbatoi e sugli elementi stazionari di un motore. Questo indice si esprime in quantità di gomma formatasi esponendo un campione riscaldato, a determinate condizioni di pressione, in presenza di ossigeno. L'ossidazione può essere causata da batteri, idrolisi, autoossidazione ed è principalmente influenzata dal grado di insaturazione degli acidi grassi; il suo andamento nel tempo può essere influenzato dalla presenza di antiossidanti e/o metalli e dalla temperatura. Per l'olio di girasole il valore di ossidazione è di 78.3 mg/100ml, per l'olio di colza è di 86.8 mg/100ml.

Viscosità cinematica: indica la resistenza che le particelle di un corpo incontrano nello scorrere le une rispetto alle altre, l'unità di misura è il "centiStokes". La viscosità cinematica aumenta con l'aumentare del contenuto di acidi grassi saturi, e con l'allungarsi delle catene di acidi grassi, diminuisce, invece, con aumentare della temperatura. In media un olio vegetale ha una viscosità cinematica maggiore di circa 10-100 volte rispetto al gasolio alla stessa temperatura. Questa elevata viscosità crea problemi quando si utilizza l'olio nei motori studiati per lavorare con gasolio e non con combustibili più viscosi, infatti, si deve aumentare la pressione di iniezione, si ha un ritardo nell'accensione con una conseguente minor atomizzazione.

2.2 *Caratteristiche chimiche degli oli vegetali*

Gli oli vegetali , come tutti i grassi, sono nutrienti essenziali per l'organismo umano, la loro importanza nutrizionale è legata al contenuto energetico, superiore a quello degli altri alimenti, ed all'apporto di acidi grassi che essi forniscono e che sono, tra l'altro i precursori di una classe importante di ormoni, le prostaglandine. Inoltre costituiscono i "carries" delle vitamine liposolubili e impartiscono qualità organolettiche a molti cibi. La definizione di "grasso" che ancora oggi appare la più adeguata è quella

proposta dal chimico francese Chevreul nella prima metà dell'800: "*i grassi sono miscele di trigliceridi misti*". In realtà, tale definizione non tiene conto del fatto che i trigliceridi, pur costituendo il 97-98% in peso dei grassi, non ne rappresenta la totalità; il rimanente 2-3% è formato da quelli comunemente chiamati "costituenti minori", ma la cui importanza non è secondaria nel determinare le proprietà generali di questi prodotti (Fig 2.1). Consideriamo ora più dettagliatamente i vari costituenti dell'olio.

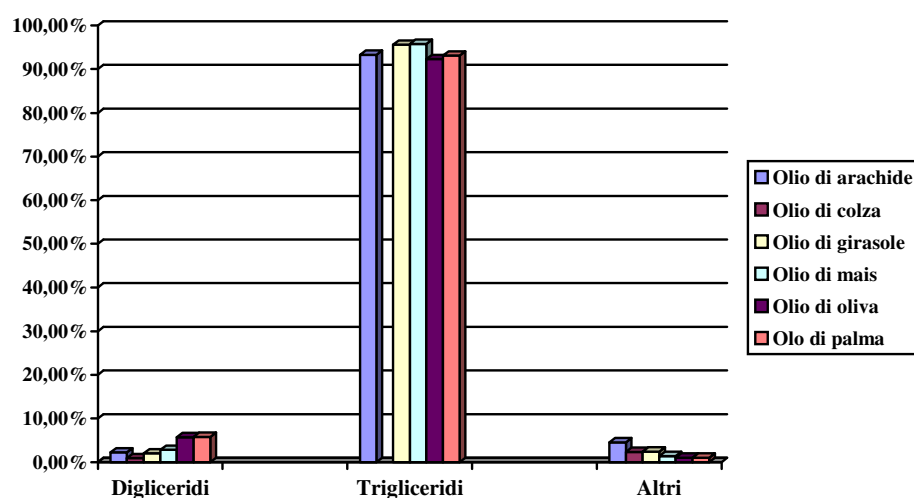



Figura 2.1. Composizione oli

2.2.1. Gli acidi grassi.

Gli acidi grassi sono acidi carbossilici, generalmente a catena lineare, saturi ed insaturi, a numero pari di atomi di carbonio, da C_4 a C_{30}, non sono tuttavia infrequenti acidi con numero dispari di atomi di carbonio, ramificati o nella forma ciclica, oppure con sostituenti diversi nella catena idrocarburica.

Secondo la nomenclatura IUPAC ogni singolo acido viene indicato prendendo come riferimento l'idrocarburo con lo stesso numero di atomi di

carbonio, saturo o insaturo, sostituendo uno dei gruppi metilici (CH_3) terminali con un gruppo carbossilico (COOH), (Fig.2.2).

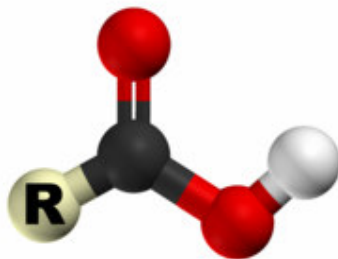



Figura 2.2. Modello molecolare di un acido cardossilico

Il suffisso "*o*" del nome dell'idrocarburo viene trasformato in "*oico*", quando è presente una in saturazione la si indica con "*en*" e la sua posizione viene specificata con un numero opportuno; l'isomeria geometrica è indicata con *cis* e *trans*, anche se, i doppi legami di quasi tutti gli acidi grassi presenti in natura sono nella configurazione geometrica cis . Accanto a questa nomenclatura esiste un'utile scrittura stenografica che designa un acido grasso con due numeri separati da due punti, il primo indica il numero di atomi di carbonio dell'acido grasso, il secondo il numero delle insaturazioni, ossia il numero dei doppi legami presenti.

Così la simbologia 18:2 sta a rappresentare un acido grasso a 18 atomi di carbonio e due insaturazioni (acido ottadecadienoico).

Gli acidi grassi si possono dividere nei seguenti gruppi:

- acidi saturi a catena lineare;

- acidi insaturi a catena lineare:
    1. acidi grassi con un solo doppio legame (monoenoici);
    2. acidi grassi con due o più doppi legami , i doppi legami non sono mai coniugati ma sono separati da un gruppo metilico;

- acidi grassi a struttura particolare.

In totale sono più di trecento gli acidi grassi di origine lipidica conosciuti, nella tabella 2.1 riportiamo i più comuni con alcune proprietà fisiche.

Tra gli acidi grassi saturi i più diffusi sono l'acido stearico e l'acido palmitico, mentre per gli acidi insaturi i più diffusi sono l'acido oleico, l'acido linoleico, che costituisce il componente principale di alcuni oli di semi, quali l'olio di girasole (40-67%) e l'olio di soia (50-55%), e l'acido linolenico, caratteristico degli oli siccativi, cioè gli oli dotati di proprietà filmogene utilizzati nella preparazione delle vernici.

Tabella 2.1. Proprietà dei più comuni acidi grassi.

Nome comune	Numero atomi di C	Formula molecolare	T.eb. in C°	Densità relativa
Miristico	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$	309,0	0,858
Palmitico	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$	332,6	0,8414
Stearico	18:0	$C_{18}H_{34}O_2$	355,2	0,839
Oleico	18:1	$C_{18}H_{33}O_2$	334,7	0,8634
Linoleico	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$	230	0,9025
Linolenico	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$	232	0,9157
Arachidico	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$	215	0,8240
Behenico	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$	306	0,8221

Gli oli alimentari, come ad esempio l'olio di colza o di soia, contengono percentuali variabili tra il 6 e il 13% di acido linolenico, mentre per tutti gli altri si hanno raramente valori che superano il 2%. Quando si parla di composizione degli oli alimentari in acidi grassi, si intende la distribuzione di questi nei trigliceridi, costituenti principali degli oli vegetali. Questa composizione degli oli riveste una notevole importanza sia sotto il profilo tecnologico sia sotto quello nutrizionale, analizziamo più da vicino questi aspetti.

Dal punto di vista tecnologico la composizione in acidi grassi è fondamentale per una buona conservazione del prodotto, infatti, la facilità con cui un olio subisce il processo di irrancidimento ossidativo dipende in larga misura dal suo grado di in saturazione, infatti, l'ossigeno molecolare attacca gli acidi grassi aventi due o più doppi legami formando prodotti complessi responsabili del sapore di rancido ; in più la percentuale di acidi grassi presenti nell'olio ne determina il comportamento alle diverse

operazioni cui è sottoposto per la preparazione degli alimenti, come la frittura e la cottura, oltre che per immagazzinamento: gli oli fortemente insaturi, infatti, sono soggetti ad una notevole polimerizzazione nei trattamenti ad alta temperatura; mentre quelli ricchi di acidi grassi saturi o contenenti acido erucico, avendo temperatura di solidificazione superiore a quella ambiente, danno problemi per l'immagazzinamento e il trasporto.

Da un punto di vista nutrizionale, un grasso ottimale dovrebbe presentare un rapporto acidi saturi/insaturi di 1.5 ed un contenuto di acido linoleico di circa il 15%, inoltre dovrebbe contenere basse percentuali di acido erucico, in quanto recenti ricerche hanno dimostrato la sua potenziale pericolosità per gli organismi animali; un decreto del Ministero della Sanità ha posto un limite del 5% al contenuto di acido erucico negli oli alimentari.

La determinazione della composizione in acidi grassi è uno dei mezzi più validi per il riconoscimento di un olio o di una miscela di oli. A titolo di esempio consideriamo la tabella 2.2 in cui viene mostrata la composizione in percentuale, in acidi grassi, dei più diffusi oli vegetali.

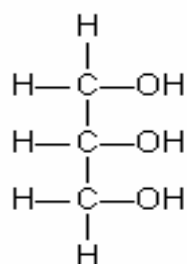
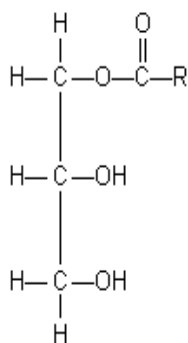
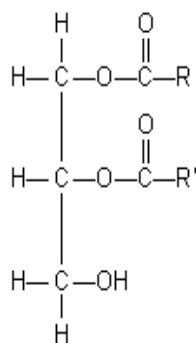
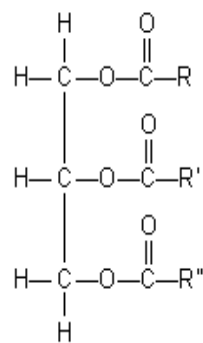
Analizzando i valori riportati in tabella si può facilmente verificare che sono l'acido oleico ($C_{18:1}$), e l'acido linoleico ($C_{18.2}$) gli acidi grassi che sono presenti in quantità maggiori negli oli.

Tabella 2.2. Composizione in acidi grassi di alcuni oli vegetali (%)

Acidi grassi	Olio di girasole	Olio di mais	Olio di soia	Olio di oliva	Olio di palma	Olio di arachidi
$C_{14:0}$	0.5	0	0.2	0.1	1.1	0.1
$C_{16:0}$	6.0	12.9	11.1	13.6	44.0	8.0
$C_{18:0}$	4.0	2.6	4.1	2.7	4.5	1.5
$C_{18:1}$	16.3	33.3	23.8	67.4	39.2	49.9
$C_{18:2}$	71.4	48.9	52.9	12.0	10.1	35.4
$C_{18:3}$	0.5	1.4	7.1	0.9	0.4	0
$C_{20:0}$	0.4	0.4	0.2	0.6	0.4	1.1
$C_{22:0}$	0.7	0.4	0	0.2	0	2.1

2.2.2. I trigliceridi.

I trigliceridi sono i prodotti dell'esterificazione dei tre gruppi funzionali alcolici della glicerina con altrettanti acidi grassi, se i gruppi acidi sono uguali si parla di trigliceridi "semplici", in caso contrario di trigliceridi "misti". La glicerina è quindi l'alcool di partenza per la formazione dei trigliceridi.

Considerando le proprietà fisiche (P.f.= 18^{o}C, P.eb.= 290^{o}C, Densità a 20 ^{o}C= 1,261) si osserva che il glicerolo è, a temperatura ambiente, un liquido dall'aspetto leggermente viscoso, in più è completamente solubile in acqua e in alcool, debolmente solubile nell'etere dietilico e completamente insolubile negli idrocarburi; la sua formula di struttura è:

Come tutti gli alcoli è il gruppo –OH che fornisce le principali proprietà fisiche e chimiche, è , infatti, la rottura del legame O-H con distacco dell'-H che determina la

monogliceride ***digliceride*** ***trigliceride***

Come già detto i trigliceridi possono essere :

trigliceridi semplici: se le tre posizioni del glicerolo esterificato sono occupate dallo stesso tipo di acido grasso (tristearilglicerolo, tripalmitoilglicerolo, trioeilglicerolo);
trigliceridi misti: se le tre posizioni del glicerolo esterificato sono occupate da due o più diversi acidi grassi;

L'elevato numero di acidi grassi che può dare esterificazione, porta alla formazione di una vastissima gamma di esteri con conseguenti incertezze e contraddizioni sulla composizione dei trigliceridi naturali che costituiscono l'olio e sulle loro proprietà. A tal proposito si può sottolineare il fatto che : i trigliceridi contenenti solo acidi grassi saturi, come la tristearina, sono a temperatura ambiente solidi bianchi; mentre i trigliceridi formati in gran parte di acidi grassi insaturi sono liquidi a temperatura ambiente. A queste conclusioni è facile giungere considerando la composizione in acidi grassi dei principali oli vegetali riportata nella tab. 1.2.
Queste difficoltà sono state superate solo recentemente , grazie alle nuove tecniche di separazione cromatografica, soprattutto con la gascromatografia.
Le proprietà fisiche degli oli vegetali, come succede per tutti i grassi naturali, possono variare in maniera sensibile anche quando sono costituiti da acidi grassi uguali o simili, queste variazioni sono dovute alle quantità relative degli acidi grassi e al modo con cui sono distribuiti nella molecola del gliceride. A tale proposito sono state proposte varie teorie riguardanti la distribuzione degli acidi grassi nelle tre posizioni della glicerina, quella attualmente più accreditata, nota come *teoria 1-random, 2-random, 3-random,* ipotizza che i diversi acidi grassi si distribuiscano in maniera caratteristica nelle tre posizioni, ma nell'ambito di ciascuna posizione la distribuzione risulti casuale.

2.2.3. I componenti minori.

Oltre ai trigliceridi tutti gli oli vegetali contengono altre sostanze, denominate complessivamente componenti minori, il loro contenuto è generalmente ridotto e variabile da olio a olio, nel caso degli oli vegetali si va dallo 0.1-0.2% dell'olio di cocco all'1% dell'olio di oliva.
Questi componenti hanno in comune la caratteristica di essere liposolubili, e possono essere classificati nelle due categorie di composti saponificabili e non saponificabili: i primi comprendono le cere, i fosfolipidi e gli sfingolipidi; ai secondi appartengono i mono-digliceridi, gli acidi grassi liberi, gli alcoli superiori, i tocoferoli, le vitamine e i pigmenti.

Cere

Con questo termine si indica una classe di sostanze chimicamente diverse ma con proprietà fisiche comuni, tra cui la consistenza cerosa; si tratta prevalentemente degli esteri di acidi grassi a catena lunga (aventi da 14 a più di 36 atomi di carbonio) con alcoli superiori (ossia aventi da 16 a 22 atomi di carbonio), quali steroli ed alcoli triterpenici.
Il contenuto di cere negli oli comuni è generalmente basso, unica eccezione è rappresentata dall'olio di sansa di oliva, che ne contiene circa il 2%.

Fosfolipidi

Sono tutti derivati dall'acido glicerolfosforico. Nei fosfolipidi naturali i due gruppi ossidrilici sono esterificati generalmente con acidi grassi, e in alcuni casi con alcoli saturi o insaturi. Il gruppo ossidrilico dell'acido fosforico può essere a sua volta legato con amminoacidi o basi azotate o con inosiloto.
Fosfolipidi comuni sono la lecitina e la cefalica; la lecitina commerciale si estrae dall'olio di soia, che ne contiene circa lo 0.2%, altri oli con quantitativi che ne rendono interessante il recupero sono l'olio di colza e di arachide.
Questi composti vengono comunque rimossi quasi totalmente nel corso della raffinazione.

Sfingolipidi

Sono ammidi di acidi grassi con basi, tipo la sfingosina o composti ad essa correlati, a catena lunga. Comprendono i ceramici, i fosfosfingolipidi, i cerebrosidi e i sulfatidi.

Momo-digliceridi

Vengono spesso utilizzati negli alimenti come agenti emulsionanti. Industrialmente si producono facendo reagire la glicerina con i trigliceridi, o esterificando la glicerina con gli acidi grassi.

Acidi grassi liberi

Come indica il nome, si tratta di acidi grassi presenti in forma libera; si trovano in percentuali significative negli oli non raffinati e in quelli esausti. Per effetto del processo di raffinazione il loro contenuto si riduce a valori orientativamente compresi tra lo 0.01 e l'1%.

Alcoli superiori

Questi composti derivano, probabilmente, dalle cere che ricoprono il frutto; gli oli ottenuti con operazioni meccaniche ne contengono piccole quantità, mentre in quelli estratti con solvente si hanno quantitativi maggiori, mediamente si va dallo 0.5 al 7% della frazione non saponificabile.

Gli steroli, noti anche come alcoli steroidi, sono formati dal nucleo steroide, da una catena laterale con 8-10 atomi di carbonio e da un gruppo alcolico. Il contenuto in steroli totali varia dallo 0.1% della frazione non saponificabile nell'olio di cocco, allo 0.25% negli oli di oliva, allo 0.5% negli oli di semi o estratti con solvente. Gli steroli presenti negli oli vengono denominati "fitosteroli", tra i più importanti vanno ricordati il β-sitosterolo, lo stigmasterolo e il campesterolo. Tutti i grassi, compresi gli oli, contengono, in quantità modeste, alcolo triterpenici; questi composti sono considerati delle vere "impronte digitali" degli oli, in quanto non esistono due oli con la stessa composizione in alcoli triterpenici. Negli oli sono presenti anche alcoli di terpenici, quali il fitolo e il geranilgeraniolo.

Tocoferoli

Da un punto di vista chimico possono essere considerati derivati dal benzoidropirano, nel quale il C_6 è legato a un ossidrile, e il C_2 ad un metile e ad una catena isoprenica a 16 atomi di carbonio. Sono presenti nella maggior parte negli oli vegetali, hanno capacità antiossidanti e, oltre ad ostacolare la rancidità sono una fonte di vitamina E. Vengono classificati a seconda del loro potere antiossidante e del contenuto di vitamina E, l'α-tocoferolo presenta la maggiore attività vitaminica e il minor potere antiossidante. La concentrazione di questi composti può ridursi in seguito al processo di raffinazione, ecco perché sono spesso aggiunti ai prodotti finiti per aumentarne la stabilità.

Vitamine

Gli oli vegetali contengono quantità variabili di vitamine liposolubili, quali la vitamina A, le vitamine D e K, la vitamina E ed i tocoferoli già descritti. Tra queste l'unica presente in quantità apprezzabili è la vitamina E; la vitamina A non è generalmente presente come tale, ma in forma di β-carotene, o provitamina A, che ne rappresenta il precursore. L'olio di palma è quello che ne contiene quantitativi maggiori, fino a 400mg per 100g di olio.

Pigmenti

Le principali classi di pigmenti sono costituite dalle clorofille e dai carotenoidi.

La clorofilla è presente solo in alcuni oli, come l'olio di oliva, l'olio di soia e l'olio di vinaccioli. In alcuni casi essa è considerata un fattore negativo, per la colorazione verde che impartisce, e viene rimossa nel corso del processo di raffinazione.

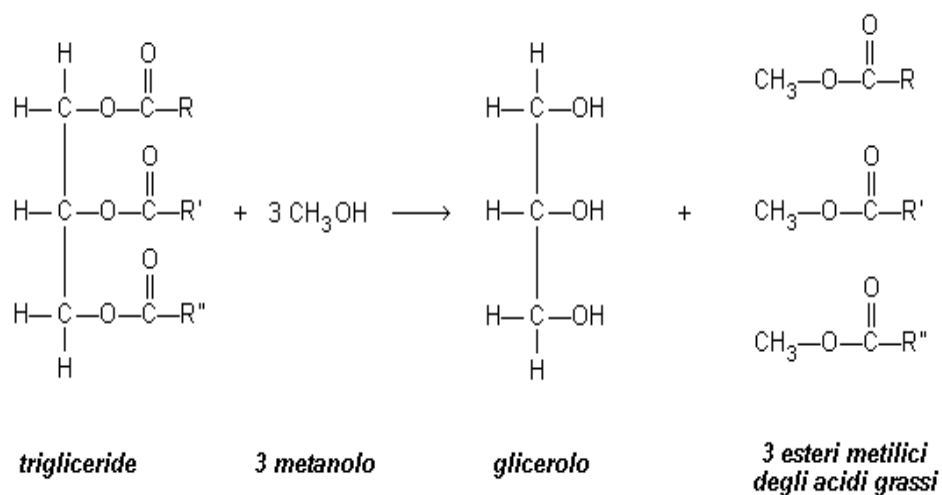
I carotenoidi impartiscono una colorazione variabile dal giallo al rosso vivo, il più diffuso è il β-carotene, seguito dall'α- e γ-carotene, e dal licopene. Il tenore in carotenoidi di un olio dipende da numerosi fattori, quali l'ambiente in cui è cresciuto il seme, la tecnologia di estrazione e il sistema di conservazione.

Il più ricco è l'olio di palma, in cui sono presenti fino a 400 mg di carotenoidi per 100 g di olio. Negli oli di semi il contenuto è modesto: raramente si superano i 50 mg per 100 g di olio.

2.3. I metilesteri

Gli oli raffinati hanno un elevata viscosità (70-80 cSt a 20°C contro i 4-7 cSt del gasolio). Un netto miglioramento di questa caratteristica si ottiene con il processo di transesterificazione (o esterificazione), che ha come risultato più evidente la rottura della molecola del trigliceride in tre molecole più piccole e quindi meno viscose.

$$\begin{array}{c} H_2C{-}O{-}CO{-}R \\ | \\ HC{-}O{-}CO{-}R' \\ | \\ H_2C{-}O{-}CO{-}R'' \end{array} + 3\,CH_3OH \longrightarrow \begin{array}{c} H_2C{-}OH \\ | \\ HC{-}OH \\ | \\ H_2C{-}OH \end{array} + \begin{array}{c} CH_3{-}O{-}CO{-}R \\ CH_3{-}O{-}CO{-}R' \\ CH_3{-}O{-}CO{-}R'' \end{array}$$

trigliceride ***3 metanolo*** ***glicerolo*** ***3 esteri metilici degli acidi grassi***

La reazione di esterificazione, come si può osservare, è semplice da un punto di vista chimico, una difficoltà è dovuta al fatto che l'olio raffinato è costituito da una miscela in cui i grassi vegetali sono presenti sotto forma sia di trigliceridi che digliceridi e minogliceridi: la reazione, quindi, deve essere ottimizzata sulla media delle caratteristiche di questi componenti.

Per ottenere un estere occorre trattare l'olio raffinato con un alcol, solitamente metilico, e opportuni catalizzatori (normalmente alcalini: idrossido di potassio, idrossido di sodio o mutilato di sodio) che aumentano la velocità e l'efficienza della reazione che può così avvenire a temperature

e pressioni non elevate. Altrimenti si parla di tempi molto lunghi o di temperature dell'ordine dei 250^{o}C. Per oli grezzi con acidità elevata (superiore a 1 %) l'utilizzo di catalizzatori alcalini può portare alla formazione di saponi quindi sarebbe meglio utilizzare quelli acidi. Normalmente però gli oli raffinati hanno una bassa acidità e perciò si impiegano proprio catalizzatori alcalini. Il prodotto finale ha una viscosità inferiore rispetto all'olio grezzo (circa 6-7 cSt a 20^{o}C, dello stesso ordine di grandezza di quella del gasolio); le caratteristiche a freddo sono tali da renderlo idoneo per quasi tutti i climi; il numero di cetano aumenta di 12-15 unità; è inoltre possibile aggiungere combustibile minerale in qualsiasi proporzione. Si ottiene anche un sottoprodotto: una fase acquosa a base di glicerolo, la cui raffinazione richiede impianti piuttosto complessi.

Il bilancio di massa semplificato dell'intero processo è il seguente:

1000 kg olio raffinato +100 kg metanolo=1000 kg biodiesel+100 kg glicerolo

Poiché si tende ad ottenere un elevato tasso di conversione in estere metilico (se possibile superiore al 97%), occorre eliminare fosfolipidi e mucillagini e mantenere il tasso di acidità dell'olio il più basso possibile.

Per accelerare il processo si opera in due modi:

- aggiunta di metanolo/etanolo in eccesso (tipicamente in rapporto 1: 6);
- eliminazione della glicerina formata in modo che la reazione è più spostata a destra.

Il metanolo non è totalmente solubile nell'olio a temperatura ambiente, occorre quindi ricorrere al riscaldamento e agitazione della miscela. La temperatura di reazione in effetti non è standard, ma deve essere individuata tenendo conto anche dei tempi di reazione. Indicativamente non si osservano differenze significative di resa con temperature di 45^{o}C o 60^{o}C, mentre a 32^{o}C la resa è leggermente inferiore. Dopo quattro ore invece la resa è sempre attorno al 98-99%.

L'alcol residuo nella soluzione di metilestere viene separato per distillazione sotto vuoto e quindi tutto o quasi l'eccesso di metanolo immesso viene

recuperato; una piccola parte rimane nella soluzione acquosa e verrà recuperata in un secondo momento. Esistono comunque differenti tecnologie di processo. Comune a tutti i processi è il controllo della qualità e l'eventuale aggiunta di additivi (gli stessi utilizzati per il gasolio). In genere vengono verificati: contenuto in esteri e glicerina, flash-point, contenuto di catalizzatore o di acido utilizzato per l'arresto della reazione. Se la qualità non è soddisfacente, il prodotto è rinviato a monte dell'impianto. La soluzione acquosa, sottoprodotto principale del processo, può essere trattata per ottenere glicerina a diversi gradi di purezza. A tal fine, deve essere neutralizzata, centrifugata e separata nei suoi componenti.

Capitolo III

MACCHINE ED APPARECCHIATURE DEL SETTORE AGRICOLO-FORESTALE

Premessa

Il settore agricolo-forestale risulta essere il più interessante per quanto riguarda la sperimentazione e l'utilizzazione dei biolubrificanti di origine vegetale. Si tratta infatti di utilizzazioni che comportano un contatto diretto tra il lubrificante e l'ambiente circostante con la possibilità di inquinamento diretto del terreno che subisce la lavorazione.
Per quanto riguarda le macchine agricole, i biolubrificanti vegetali non sono adatti per l'utilizzo come olio motore, ma hanno dato ottimi risultati come oli idraulici e oli per trasmissione.
I biolubrificanti vegetali possono essere utilizzati come olio motore per i motori a due tempi tipici delle apparecchiature forestali quali motoseghe e decespugliatori. Sul mercato italiano sono inoltre presenti lubrificanti a base di oli vegetali per catene di motoseghe, largamente utilizzati per l'alta biodegradabilità dell'olio.

3.1. Macchine agricole

Il trattore agricolo, come indica il nome, è una macchina specializzata per la trazione agricola, nata inizialmente per lo scopo specifico di moto-aratura solo successivamente ha assunto sempre più connotati della macchina tuttofare in agricoltura, buona per tutti gli scopi, sia come centro mobile di potenza che come macchina porta attrezzi universale.
I requisiti principali che deve possedere un trattore per soddisfare le esigenze dell'utente sono molteplici, quali:
- buona trattività, elevate forze di trazione producibili quando necessario;
- buona mobilità su ogni terreno;

- buona manovrabilità;
- ampia possibilità di attacco e comando attrezzi;
- elevata velocità massima;
- sicurezza e facilità di guida;
- affidabilità e facilità di manutenzione;
- basso costo di acquisto e d'esercizio;

tutte queste esigenze sono rispettate da un macchina polivalente, solitamente un trattore a doppia trazione(DT).

Esistono comunque nicchie di mercato per trattori specializzati per uno o più dei requisiti precedenti: trattori a due ruote motrici (2RM), trattori a quattro ruote motrici (4RM), a telaio rigido o articolato, trattori cingolati.

Il moderno trattore agricolo ha un notevole contenuto tecnologico e nei modelli di gamma medio-superiore non ha nulla da invidiare, come tecnologia costruttiva, alle automobili, anche come dotazioni di sicurezza e di conforto di guida. I sistemi componenti di un trattore sono innumerevoli:

- ✓ motore;
- ✓ trasmissione;
- ✓ sollevatore idraulico e sistemi idraulici;
- ✓ sistemi di frenatura di servizio e di stazionamento;
- ✓ sistemi elettrici ed elettronici anche come strumentazione di comando e di controllo;
- ✓ sistemi di aggancio e comando attrezzi anteriori e posteriori;
- ✓ cabina di protezione e posto di guida;
- ✓ sistema di propulsione (peneumatici o cingoli);
- ✓ sistemi di direzione e sterzo.

Tali sistemi possono presentare a seconda dei modelli un notevole grado di diversificazione e sofisticazione ed il ventaglio delle possibilità offerte dal mercato è innumerevole.

Per quanto riguarda l'utilizzo dei biolubrificanti vegetali è necessario analizzare in dettaglio il sistema di trasmissione, e quello idraulico.

3.1.1. La trasmissione

Per trasmissione si intende l'insieme degli organi che trasmettono la potenza del motore ai punti di utilizzazione che in un trattore agricolo comprendono, oltre alle ruote motrici anche la presa di potenza e i sistemi idraulici (sollevatore, idroguida, distributori idraulici….). Inoltre compito della trasmissione principale è, non solo trasmettere potenza alle ruote, ma anche variare opportunamente la coppia motrice erogata dal motore, in funzione della coppia motrice incontrata, cambio di velocità. La trasmissione, inoltre, deve consentire u facile controllo da parte del guidatore mediante dispositivi di inserimento e disinserimento del motore: nelle trasmissioni meccaniche questi dispositivi sono rappresentati dalla frizione.

In linea generale le trasmissioni sono classificabili in base alla loro costituzione in:

- meccaniche;
- idrauliche;
- miste;

o in base al tipo di azionamento in:

- manuali, sono i sistemi tradizionali frizione e cambio meccanico a gradini;
- semiautomatiche (power shift), consentono il cambio sotto carico senza abbassare il pedale della frizione, il cambio richiesto avviene con un servomeccanismo che comanda delle frizioni idrauliche;
- automatiche, consentono il cambio dei rapporti senza alcun intervento dell'operatore.

Le trasmissioni meccaniche sono costituite da un sistema di organi meccanici basati su ingranaggi di ruote dentate: rotismi ordinari o epicicloidali. Tali sistemi hanno il vantaggio di consentire la trasmissione di elevate potenze con elevati rendimenti di trasmissione ma con l'inconveniente di elevati ingombri e pesi specifici; le trasmissioni per ingranaggi consentono, inoltre, solo un cambio discontinuo, a gradini, e non un cambio continuo della velocità. Trasmissioni meccaniche, in particolari

applicazioni, possono essere realizzate anche con catene o cinghie, come avviene ad esempio per gli organi operatori delle mietitrebbie.

Le trasmissioni idrauliche sono costituite da un fluido (olio) in moto che trasmette la potenza meccanica agli organi operatori e si dividono in idrostatiche o idrodinamiche a seconda che la potenza idraulica sia trasferita sotto forma di elevata pressione o elevata velocità.

Le trasmissioni idrostatiche sono costituite, in linea generale, da una pompa, da un circuito idraulico e da motori o attuatori idraulici, il vantaggio delle trasmissioni idrostatiche è di essere flessibili e di poco ingombro, con lo svantaggio di rendimenti di trasmissione più bassi rispetto a quelle meccaniche.

Le trasmissioni idrodinamiche sono rappresentate da due sistemi caratteristici: il giunto idraulico, detto anche frizione idraulica, e il convertitore idraulico di coppia.

In molti casi, per esempio nelle mietitrebbia, si realizzano trasmissioni miste, idrostatiche e meccaniche, per consentire un controllo continuo della velocità di avanzamento nell'ambito della marcia inserita ed una maggiore facilità e semplicità di guida.

3.1.2. I sistemi idraulici

Negli ultimi trent'anni i sistemi idraulici si sono particolarmente diffusi sui trattori agricoli interessando lo sterzo, la trasmissione, i freni, i comandi elettro-idraulici, i distributori idraulici e il sollevatore idraulico.

Da un punto di vista generale una trasmissione idrostatica permette trasmissione di potenza attraverso un liquido (olio) sotto pressione. Le pressioni dei circuiti idraulici principali dei trattori raggiungono di norma i 150 bar (15 MPa), con valvole di salvaguardia tarate a circa 180 bar (18 MPa).

I principali componenti di un sistema idraulico sono:

- ✓ pompe: Compito delle *pompe* è muovere il fluido nel sistema idraulico e per questo rappresenta il cuore del sistema. In genere in un trattore sono presenti due o tre pompe per il sistema idraulico, tutte comandate dal motore, generalmente mediante l'albero di

distribuzione o quello della presa di potenza. Le pompe trasmettono l'energia meccanica al fluido sotto forma di pressione e velocità;

- ✓ attuatori:dispositivi in grado di trasformare l'energia idraulica fornita dalla pompa in energia meccanica, il più semplice e diffuso attuatore idraulico è rappresentato da un cilindro o martinetto idraulico;
- ✓ valvole di distribuzione e di regolazione: i distributori consentono di inviare opportunamente e regolare il flusso dell'olio nel circuito idraulico, sono presenti ad esempio tra la pompa e l'attuatore; per quanto riguarda le valvole di regolazione della pressione possono essere di due tipologie, di sicurezza o di massima quando limitano la pressione massima del circuito. Quando le portate e le pressioni in gioco nel circuito sono elevate si impiagano limitatori di pressione o di portata;
- ✓ linee, filtri, accumulatori idraulici, radiatori, serbatoi che permettono di chiudere il circuito idraulico garantendone il giusto funzionamento, ad esempio gli accumulatori idraulici possono essere utilizzati per vari scopi:accumulare energia, in modo da risparmiare potenza della pompa in modo di disporne nel caso di rottura della pompa, per compensare eventuali perdite di olio, smorzare i picchi di pressione e di portata, per compensare il volume dell'olio presente nel circuito.

3.1.3. Lubrificanti agricoli

Rispetto al passato i nuovi trattori agricoli sono di potenza notevolmente aumentata perciò richiedono nuovi lubrificanti in condizione di soddisfare appieno l'aumento di prestazioni col rispetto delle nuove specifiche tecniche. Che si tratti di lubrificare il singolo elemento quali motore, circuito idraulico, trasmissione e freni in bagno d'olio o tutte le parti del trattore, occorre che il prodotto sia formulato con additivi d'elevata qualità e per la loro specifica applicazione.

Olio motore.

Il motore, per esempio, richiede un prodotto adatto per la generalità dei motori Diesel ma occorre fare una scelta attenta e precisa degli additivi in considerazione delle varie e particolari esigenze quali la:

- ✓ detergenza: per evitare il rischio di formazione di depositi importanti di colamina che favoriscono l'usura e l'ossidazione dell'olio;
- ✓ dispersione: per disperdere e polverizzare le particelle abrasive di carbone ed evitare l'usura;
- ✓ corrosione: causata da carburanti con un alto contenuto di zolfo;
- ✓ partenze rapide con oli multigradi per l'uso durante il clima freddo.

L'olio per lubrificare il motore del trattore deve essere cioè formulato in modo specifico per assicurarne il miglior rendimento, la maggior durata e contenere le spese d'uso e riparazione rispettando la funzionalità che è garantita dal costruttore.

Oli idraulici

Il progresso tecnico e nuove esigenze di lavorazione dei prodotti agricoli hanno comportato l'uso di nuovi oli idraulici per ottenere un migliore funzionamento anche con le pressioni più elevate e le più alte temperature ora raggiungibili. Le maggiori prestazioni fornite oggi da lubrificanti di qualità, hanno comportato modifiche costruttive e funzionali quali, ad esempio, il montaggio di serbatoi d'olio più piccoli e più lunghi intervalli di cambio olio. Gli attuali oli idraulici possiedono alta stabilità chimica che impedisce la perdita di fluidità, causa del calo di "nervosismo" idraulico, ed ottima resistenza alla formazione di schiuma. L'azione anticorrosiva protegge le parti metalliche della pompa ed altre parti dell'impianto idraulico. Il rischio di guasti, con perdite d'olio e possibile inquinamento ambientale, ha reso necessario un attento controllo e sviluppato il crescente interesse all'uso d'oli idraulici con delle basi vegetali (tipo olio di colza) od ottenuti per esterificazione di queste basi non inquinanti.

Oli trasmissione

Gli oli per la trasmissione ad ingranaggi devono assicurare una maggior durata degli ingranaggi nella scatola cambio, dei planetari, del differenziale

e dei riduttori finali. La loro funzione è una superiore lubrificazione, per minimizzare l'usura d'ingranaggi e pompe sottoposti a carichi elevati, assicurando un'ottimale resistenza e la protezione ai carichi da choc. L'elevata tolleranza alla presenza d'acqua riduce gli effetti corrosivi della condensa proteggendo dalla formazione di depositi, la disgregazione d'additivi e la formazione di ruggine ed emulsioni. Le caratteristiche antiattrito limitano l'usura delle parti meccaniche della trasmissione prolungandone quindi la loro durata. I più importanti costruttori di trattori agricoli quali J.Deere, Ford-Massey Fergusson, Renault, Case, Fiat, hanno studiato ed adattato le loro richieste per soddisfare le crescenti esigenze tecniche ed applicative.

Le norme definite dai costruttori possono essere considerate complesse ma è necessario conoscerle bene, fare una giusta scelta dei prodotti d'acquisto e garantirsi il miglior funzionamento del trattore. La lubrificazione del trattore deve garantire ottima funzionalità di tutte le componenti meccaniche e cioè:

- ✓ motore;
- ✓ circuito idraulico;
- ✓ trasmissione;
- ✓ freni a bagno d'olio.

Questo può essere assicurato da lubrificanti specifici per ogni parte meccanica o da pochi altri, detti universali che, per la loro particolare additivazione, assicurano la giusta lubrificazione di tutte le parti con uno solo od, al massimo, due prodotti.

3.2. Funzionamento motore a due tempi

I motori a due tempi sono caratteristici di diverse apparecchiature forestali quali motoseghe decespugliatori, alimentati da miscele costituite da benzina e oli lubrificante.

Lo sviluppo di motori a due tempi nasce dall'osservazione che nel motore a quattro tempi si impiegano due corse per fare l'aspirazione e lo scarico, mentre poi si ha un'unica corsa utile su quattro (l'espansione)cui si aggiunge quella di compressione necessaria per poter ricavare lavoro. Per

poter sfrutturare un motore a due tempi si è vincolati a mantenere una corsa di compressione, una di espansione e la fase di combustione, potendo agire sulla riduzione delle fasi di ricambio (scarico del gas esausto ed introduzione di miscela o aia fresca che deve lavorare) in prossimità del PMS.

L'applicazione pratica che trova maggior riscontro e successo è il così detto motore a tre luci: si eliminano le valvole, presenti nei motori a quattro tempi, e si comanda l'ingresso della carica fresca e l'espulsione del gas di scarico attraverso delle luci scolpite nel cilindro, inoltre la manovella è avvolta da un carter a chiusura ermetica.

Immaginando di partire dal PMS si è in presenza della miscela alla massima pressione, scocca la scintilla ed avviene la combustione; Quando lo stantuffo comincia a scendere scopre la luce 1 per cui il gas che ha compiuto l'espansione ha la possibilità di uscire (scarico). Nel frattempo lo stantuffo continua la discesa fino a scoprire la luce 2: si ha un intervallo di tempo in cui sono aperte contemporaneamente le luci 1 e 2. Ci si avvale di questo espediente per "lavare" il cilindro, ossia l'aria fresca che entra dalla luce 2, attraverso il carter, si presenta sotto forma di fronte che spinge all'esterno il gas, che ha già lavorato, attraverso la luce 1. Quando lo stantuffo arriva al PMI, ossia a fondo corsa, e comincia a risalire si crea una certa depressione nel carter che permette all'aria di entrare attraverso la luce 3. L'aria che si carica in questo modo nel carter verrà compressa durante la fase di ritorno dello stantuffo (PMS- PMI), permettendo l'uscita della stessa dalla luce 2.

Solitamente i motori a due tempi, a causa dell'apertura contemporanea della luce 1 e 2, generano una perdita di miscela ecco perché sono solitamente utilizzati per piccoli motori di cilindrata intorno ai 50 cm^3.

Capitolo IV

BIOLUBRIFICANTI DI ORIGINE VEGETALE

Premessa

I lubrificanti sono sostanze grasse liquide, pastose, o semi solide che si interpongono tra due interfacce in movimento relativo per ridurre lo strofinio e l'usura. Il termine "bio" come prefisso alla parola "lubrificante" indica il carattere biodegradabile della sostanza senza dare alcuna indicazione sull'origine dell'olio. Gli oli di base dei biolubrificanti possono essere classificati secondo le seguenti cinque famiglie:

- materie prime di origine vegetale:
  - ✓ oli vegetali non modificati;
  - ✓ esteri di oli vegetali;
- materie prime di origine petrolifera:
  - ✓ esteri sintetici;
  - ✓ idrocarburi sintetici;
  - ✓ oli minerali.

In questo studio si intende per biolubrificanti solo i lubrificanti di origine vegetale, dunque sostanze di origine organica, animale o vegetale, che hanno le proprietà di lubrificare rispettando tre condizioni fondamentali:

- formazione del film nell'interfaccia tra le due parti;
- continuità del film durante il contatto dei pezzi;
- facile deformazione del film per cesellamento.

I biolubrificanti possono essere utilizzati per varie finalità:

- riduzione delle perdite di energia meccanica nelle macchine;
- riduzione dell'usura delle parti in movimento;
- trasmissione di pressione;
- protezione delle parti da corrosione;
- abbassamento della temperatura di funzionamento delle macchine;
- aumento dell'impermeabilità;
- evitare e rimuovere i depositi di impurità e di sporcizia.

Il lubrificante di base è un olio vegetale più vari additivi in funzione della natura dell'olio, le materie base sono oli ricchi in acido oleico, acido grasso a lunga catena (18 atomi di carbonio), derivanti principalmente da oleaginose.
L'origine della materia prima permette di distinguere due tipi di biolubrificanti:

- i biolubrificanti di origine animale: costituiti essenzialmente di esteri derivanti dalla combinazione di acido grasso e di glicerina, si possono trovare allo stato liquido, pastoso e solido;
- i biolubrificanti di origine vegetale: combinazione di acidi grassi esterificati o al naturale. Si possono trovare sotto tre forme:
  - ✓ liquidi, oli semi-siccativi (si addensano per ossidazione) quali olio di cotone, di colza o non siccativi caratterizzati da una alta viscosità e la possibilità di utilizzazioni per una larga gamma di temperature;
  - ✓ pastoso, olio di palma, di cocco, di palmisti: liquidi alle temperature tropicali ma pastosi nelle regioni temperate;
  - ✓ solido:resine e colofonie estratte da pini e resistenti all'acqua.

4.1 Biolubrificanti di origine vegetale

Esistono sul mercato europeo, in particolare francese e tedesco, tre generazioni di lubrificanti di origine vegetale:

- *olio vegetale non trasformato*: possiede un potere lubrificante naturale, altamente biodegradabile e buona adesività alle interfacce metalliche. Questo tipo di biolubrificante poco additivato è ideale per temperature inferiori ai 70°C;
- *esteri di oli vegetali*: sono trigliceridi che hanno subito una modificazione strutturale, ossia la sostituzione di un glicerolo da parte di un alcool sulla catena del carbonio, si parla generalmente di reazione di esterificazione, modificazione che permette di migliorare la resistenza all'ossidazione, e l'utilizzo a temperature superiori ai 70°C. Questo lubrificante è utilizzato soprattutto come fluido idraulico o per trivellazioni, ha il vantaggio di possedere elevate

proprietà di biodegradabità; le sue qualità sono comparabili con quelle di un lubrificante minerale.

- *Esteri di oli vegetali elaborati*: sono esteri di tipo saturo che possono essere utilizzati in settori specifici come quello automobilistico e aeronautico, o come additivi in applicazioni più severe (motori a 4 tempi) resistendo a idrolisi e ad ossidazione fino a temperature di 120°C. Le loro qualità sono superiori a quelle degli oli minerali e hanno una grande capacità biodegradabile.

Indipendentemente dall'origine dell'olio vegetale di base i biolubrificanti possiedono delle proprietà intrinseche che li rendono competitivi con i lubrificanti di origine minerale:

- un potere lubrificante naturale;
- una buona adesività alle interfacce;
- una buona untuosità;
- un elevato indice di viscosità.

I settori di applicazione dei biolubrificanti sono gli stessi degli oli lubrificanti di origine petrolchimica:

- olio di catene;
- fluido idraulico;
- grasso;
- lubrificanti per motori.

I settori di intervento in cui si possono utilizzare i biolubrificanti possono essere classificati in due ordini:

- ✓ settori in cui il biolubrificante è irrecuperabile, come nel caso delle attività forestali e la navigazione fluviale dove la contaminazione dell'ambiente è realizzata dagli oli delle catene delle motoseghe, dai grassi e fluidi idraulici, dall'utilizzo dei motori a due tempi sia di tipo forestale che nautico;
- ✓ settori in cui il lubrificante può essere soggetto a perdite accidentali, come nel settore agroindustriale ed automobilistico.

4.2. Caratteristiche chimico-fisiche dei biolubrificanti di origine vegetale

Gli oli vegetali sono prodotti da fonti rinnovabili, grazie alla loro composizione chimica sono altamente biodegradabili, ossia possono essere trasformati in modo irreversibile in altri composti più semplici ad opera dei microrganismi presenti nell'ambiente, inoltre sono prodotti non tossici sia per l'ambiente che per la salute umana.

Possiedono inoltre proprietà fisiche che ne determinano un elevato grado di sicurezza nell'utilizzazione:

- ✓ elevato punto di infiammabilità: il valore di flash-point medio per gli oli vegetali è di circa 300^{o}C, molto più elevato degli oli minerali, questo comporta una sicurezza maggiore sia in termini di maneggevolezza del prodotto che di utilizzo;
- ✓ bassa volatilità relativa: la curva di distillazione degli oli vegetali è più alta di quella degli oli minerali, ciò comporta una riduzione della quantità di lubrificante che può evaporare a parità di temperatura di utilizzazione, inoltre si ha una riduzione delle emissioni allo scarico e di depositi solidi;
- ✓ elevato indice di viscosità: ossia la viscosità degli oli vegetali varia poco con la temperatura rispetto agli oli minerali, che garantisce un film lubrificante omogeneo e di giusto spessore a tutte le temperature di funzionamento;
- ✓ elevata viscosità cinematica: che comporta un minor attrito delle parti in movimento e una riduzione del consumo dei combustibili.

Tuttavia gli oli vegetali presentano delle limitazioni che possono comprometterne l'utilizzo come base per gli oli lubrificanti:

- ✓ punto di scorrimento: anche se i punti di scorrimento degli oli vegetali sono paragonabili con quelli degli oli minerali, questo non consente di avere un uguale affidabilità per i due oli; per esempio anche se l'olio alto-oleico di colza ha un punto di scorrimento di -27^{o}C, congela dopo tre giorni a -20 ^{o}C, e dopo 7 giorni a -10 ^{o}C. L'aggiunta di additivi, quali liquidi sintetici o oli minerali può migliorare notevolmente le caratteristiche a bassa temperatura degli oli vegetali. Per esempio, aggiungere all'additivo 30% di additivi

all'olio alto oleico di colza permette che rimanga fluido dopo 7 giorni a -20 ^oC; l'olio normale di colza congela dopo tre giorni a -30 ^oC, ma può essere mantenuto fluido per sette giorni a quella temperatura con l'aggiunta di 20% di additivi;
- ✓ bassa stabilità idrolitica e ossidativi: le reazioni di idrolisi che possono avvenire nell'olio in presenza di acqua e i fenomeni ossidativi causati dall'alta temperatura degradano notevolmente gli oli vegetali causando la formazione di acidi e di composti pastosi che creano problemi alla lubrificazione.

4.2.1. Reazioni di ossidazione nell'olio vegetale

L'olio vegetale a contatto con l'ossigeno atmosferico dà luogo ad un insieme di reazioni a catena, che portano all'ossidazione dell'olio e quindi al deterioramento delle sue caratteristiche chimico-fisiche, favorite anche dalle alte temperature.
Le reazioni di ossidazione procedono attraverso i seguenti stadi elementari:

- *attivazione:* con scissione omolitica dell'atomo di idrogeno nella posizione più reattiva del gliceride;
- *propagazione:* con formazione di radicali perossidici che, a loro volta, reagiscono con una nuova molecola di acido grasso;
- *terminazione:* con formazione di composti stabili, i cosiddetti composti di ossidazione secondaria.

I fattori principali che determinano la resistenza di un olio all'ossidazione sono la composizione in acidi grassi e la presenza eventuale di metalli e di antiossidanti.
Per quanto riguarda gli acidi grassi, il parametro principale da considerare è costituito dal rapporto acidi saturi/acidi insaturi, infatti, la resistenza dell'olio all'ossidazione diminuisce al diminuire di questo rapporto, ossia, all'aumentare del contenuto di acidi grassi insaturi. Possiamo riportare nella tabella 4.1 una scala di reattività per alcuni tipi di acidi grassi alla reazione di ossidazione.

Si può notare che maggiore è l'insaturazione dell'acido, e maggiore è la reattività all'ossidazione. La tabella 4.2 mostra la percentuale di insaturazione dei più comuni oli vegetali.

Tabella 4.1. Reattività relativa degli acidi grassi all'ossidazione

Acidi grassi	Atomi C: legami insaturi	Reattività relativa
Acido stearico	18:0	1
Acido oleico	18:1	10
Acido linoleico	18:2	100
Acido linolenico	18:3	150

L'olio più soggetto all'ossidazione è l'olio di colza, ha, infatti, la maggiore percentuale di acidi grassi insaturi e quindi il minor rapporto saturi/insaturi Quando si parla di percentuale di acidi grassi saturi o insaturi in un olio, come già detto, si intende la quantità di acidi che costituiscono i trigliceridi, e non gli acidi grassi liberi.

Tabella 4.2. Percentuale di insaturazione di alcuni oli vegetali

Tipi di olio	Acidi saturi %	Acidi insaturi %	Rapporto saturi/insaturi
Olio di palma	50	50	1
Olio di cotone	28	72	0.39
Olio di mais	15	85	0.18
Olio di soia	15	85	0.18
Olio di girasole	13	87	0.15
Olio di colza	7	93	0.075

La presenza di metalli, anche in tracce, ha un effetto negativo sulla resistenza all'ossidazione, in quanto tali specie riducono l'energia di attivazione delle reazioni di ossidazione, causandone un aumento di velocità; i metalli agiscono da catalizzatori specifici, inducendo la formazione di radicali perossidici.
Alcune ricerche effettuate sull'olio di girasole sottoposto a riscaldamento severo in presenza di metalli hanno portato alla definizione della seguente scala di reattività:

Fe > Mn > Cu > Co > Pb > Ni > Zn

Gli antiossidanti agiscono da donatori di idrogeno ed accettatori di radicali liberi; quindi riducono la concentrazione dei radicali che intervengono nella fase di attivazione, provocando una diminuzione della velocità globale di ossidazione.
La maggior parte degli antiossidanti sono composti volatili, quindi la loro azione protettiva diminuisce all'aumentare della temperatura e/o del tempo di riscaldamento; nel caso dei composti a bassa volatilità, ad esempio i tecoferoli, avenasterolo (appartiene agli steroli), l'effetto antiossidante è invece molto più marcato.
Un ulteriore fattore da considerare è il contenuto di ossigeno, che diminuisce all'aumentare dell'umidità dell'olio, ed aumenta per effetto dell'agitazione e con l'estensione della superficie di esposizione del olio all'aria.
Sottoponendo un generico olio ad idrolisi si possono ottenere gli acidi grassi riportati in tabella 4.3.
L'acido palmitico ha solo legami singoli tra gli atomi di carbonio è quindi un acido saturo; l'acido oleico ha un solo legame doppio tra gli atomi di carbonio risulta essere un acido monoinsaturo; l'acido linoleico è un acido di-insaturo avendo più legami doppi tra gli atomi di carbonio.

Tabella 4.3. Prodotti di idrolisi di un olio vegetale

Nome	Molecole per 100 (mol %)	Formula
Acido palmitico	18-25	$CH_3(CH_2)14COOH$
Acido oleico	17-38	$CH_3(CH_2)7CH\text{-}CH(CH_2)7COOH$
Acido linoleico	45-55	$CH_3(CH_2)4CH\text{-}CHCH_2CH\text{-}CH(CH_2)7COOH$

Studi effettuati da Renewable Lubricants Inc. (RLI) e da Lubrizol, aziende americane leader nello sviluppo di biolubrificanti di origine vegetale, hanno dimostrato che modificando geneticamente gli oli vegetale si possono produrre oli altamente resistenti all'ossidazione. In dettaglio hanno dimostrato che oli con un alta percentuale di acido oleico possiedono una stabilità all'ossidazione maggiore:

- olio alto-oleico di colza (HORO) con acido oleico al 72%;
- olio di girasole alto oleico (HOSO) con acido oleico all'80%.

La stabilità all'ossidazione può essere ulteriormente migliorata aggiungendo gli antiossidanti che possono migliorare anche la stabilità idrolitica dell'olio.

Capitolo V

SPERIMENTAZIONE BIOLUBRFICANTI

Premessa

I biolubrificanti di origine vegetale possono essere utilizzati al posto dei lubrificanti di origine minerale, in molti settori tra i quali hanno maggior rilievo quelli in cui il lubrificante può andare in contatto diretto con ambiente:

- utilizzazioni in macchine forestali: motori a due tempi di motoseghe;
- utilizzazioni in macchine agricole: oli idraulici e di trasmissione.

Nel primo caso si hanno infatti emissioni dovute alla combustione del motore a due tempi che oltre a generare inquinamento atmosferico può causare anche danni alla salute dell'operatore; nel secondo caso invece l'olio idraulico o utilizzato per la trasmissione di trattori può andare direttamente in contatto con il terreno agricolo in lavorazione causando danni anche per le colture.

Per quanto riguarda la sperimentazione dei biolubrificanti da utilizzare in motori a due tempi si farà riferimento al Decreto Ministeriale 15 settembre 2004 "Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Recepimento della direttiva 2002/88/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 dicembre 2002, che modifica la direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente i provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali"(GU n. 87 del 15-4-2005- Suppl. Ordinario n.64), inoltre si effettuerà un confronto con un olio motore sintetico.

Per quanto riguarda la sperimentazione dei biolubrificanti in macchine agricole verranno riportati i risultati di prove effettuate sugli oli per la trasmissione, verificando la tipologia di olio vegetale più idoneo a tale utilizzazione.

5.1. Utilizzazione di biolubrificanti in motori a due tempi

Per verificare la valenza ambientale dei biolubrificanti si sono eseguite l'analisi dei gas di scarico della motosega Alpina P500, le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella tabella 5.1.

Tabella 5.1. Caratteristiche tecniche della motosega Alpina P500

Caratteristiche tecniche della motosega Alpina P500		
Cilindrata	cm³	50,8
Potenza	kW (CV)	2,3 (3,1)
N° giri al minimo	giri/min	2700-3000
N° giri al massimo	giri/min	11800-12000
N° giri alla coppia massima	giri/min	5500-6500
Capienza serbatoio	cm³	520
% olio miscela	%	2-4
Peso secco senza barra e catena	kg	4,9

5.1.1 Descrizione del banco prova utilizzato per la sperimentazione

La sperimentazione è stata condotta presso la "cella motore" del laboratorio di "Macchine" del Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica, Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". La cella motore è distinta in due ambienti: il primo dove sono collocate le macchine da testare, ed il secondo dove si trovano i pannelli di comando delle attrezzature presenti. Queste due camere sono separate fra loro da una parete dotata di un'ampia vetrata che consente di verificare l'andamento dei test e da un portello di accesso a chiusura ermetica a doppia anta e con capacità tagliafuoco.

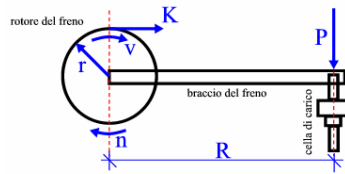
Nella cella motore sono presenti dei sistemi ad aspirazione localizzata e generale, necessari all'eliminazione dei fumi ottenuti dalla combustione. Il sistema di aspirazione localizzato è caratterizzato da una canna fumaria con portata di $1000 m^3/h$ sulla quale, presso un'apposita flangia, viene inserito un tubo convogliatore collegato a sua volta all'innesto speciale applicato alla marmitta della macchina. Il collegamento tra la marmitta della macchina e l'innesto speciale si effettua attraverso un tubo flessibile.

Il sistema di aspirazione generale è costituito da due griglie, di cui una per l'immissione di aria fresca e l'altra, con aspiratore a due velocità, per l'espulsione dei gas nocivi. Le due velocità di espulsione si rendono necessarie in quanto, alla presenza di modeste produzioni di calore, una velocità troppo alta di ricambio dell'aria rischierebbe di far abbassare la temperatura invece di mantenerla costante; in questo modo sarebbero alterate le condizioni della prova. D'altro canto una velocità troppo bassa potrebbe essere insufficiente all'espulsione dei gas combusti.
Il banco di prova su cui vengono condotte le analisi dei gas di scarico è costituito da:

- freno dinamometrico a correnti parassite SCHENCK W40;
- telaio regolabile su cui vengono disposte le macchine da testare.

La motosega è stata ancorata al telaio del banco prova attraverso dei sostegni metallici denominati "culle", mentre il collegamento della macchina alla flangia del freno dinamometrico, è reso possibile con un giunto elastico per l'assorbimento di coppia (giunto HRC) caratterizzato da due mozzi in acciaio dentati, interposti da un inserto in gomma nitrile standard. Quest'ultimo assolve alla funzione di ammortizzare i picchi transitori dei carichi e gli spostamenti accidentali paralleli, angolari e assiali degli alberi di collegamento.
Per la determinazione della portata massica del carburante (consumo espresso in kg/h alle varie modalità di prova) è stato realizzato un circuito per il rifornimento della macchina, caratterizzato da un serbatoio da 2 litri e da una buretta graduata di 25cm^3, comunicanti tra loro attraverso una tubazione. Da questi ultimi si dirama poi il tubo di rifornimento collegato all'innesto di aspirazione della miscela del carburatore della macchina. Bloccando con l'apposito rubinetto l'afflusso di carburante dal serbatoio, si consente il consumo della miscela contenuta nella buretta graduata e quindi cronometrando il tempo necessario al passaggio del menisco formato dalla miscela, tra le due tacche di riferimento della buretta, si ottiene il valore di consumo nell'unità di tempo (25cm^3/min).
Il freno CARL SCHENCK W40 è un freno a correnti parassite per misure di potenza che dissipa l'energia meccanica del motore in prova in calore attraverso l'energia elettrica. Il calore viene poi eliminato dall'acqua di

raffreddamento che non esercita però azione frenante a differenza di quanto accade sull'altro modello di freno SCHENCK (freno idraulico) presente nella cella motore (Fig.5.1).

Figura 5.1. Schema freno SCHENCK W40

Dove:

K= forza in N applicata dal motore;

n = numero di giri al minuto;

P = forza peso in N;

r = raggio del rotore;

R = braccio di leva in m. Sullo Shenck W40 R = 0,358 m.

Il freno si compone principalmente di quattro parti:

- la carcassa o statore, nella quale è alloggiato il rotore;
- il telaio, sul quale è fissata la carcassa del freno;
- il dispositivo di misura della forza (cella di carico), fissato sul telaio;
- l'apparecchio di comando, che assieme all'output analogico del dispositivo di misura della forza è posto nel "quadro SCHENCK" della camera di controllo.

Il rotore è costituito da due semialberi e da un disco polare che ha una dentatura stellare e ruota entro il campo magnetico di una bobina eccitata con corrente continua.

Il disco polare ruota tra le camere di raffreddamento fisse entro il campo magnetico generato da una bobina eccitata con corrente continua le cui spire sono coassiali all'asse del freno. Il campo magnetico prodotto da questo avvolgimento è quindi toroidale.

Data la configurazione del rotore, si hanno delle concentrazioni di flusso magnetico in corrispondenza dei denti e pertanto, quando esso ruota, le zone degli anelli dello statore che in un certo istante sono opposte ai denti oppure comprese tra due denti del rotore, vengono alternativamente magnetizzate e smagnetizzate. Si generano pertanto sulla superficie delle camere di raffreddamento delle correnti di Foucalt (correnti parassite) che dissipano in calore per effetto Joule l'energia fornita al freno dal motore termico; il calore generato è asportato da una corrente d'acqua.
L'acqua di raffreddamento circola in un circuito chiuso di cui fa parte anche il freno ed è mossa da una pompa che si trova sotto le grate della cella. All'uscita dalle camere statoriche essa viene raccolta in un bacino, dal quale viene poi convogliata in uno scambiatore aria-acqua posizionato all'esterno dell'edificio. Qui viene raffreddata e di nuovo immessa in circolo.
I campi magnetici indotti dalle correnti parassite si oppongono al movimento di rotazione.
La rotazione della carcassa (statore) viene impedita da una leva ad essa solidale, vincolata ad un dispositivo dinamometrico a cella di carico.
Il momento torcente frenato viene indicato sotto forma di forza in rapporto ad un determinato braccio di leva.
Nella tabella 5.2. che segue vengono riportate alcune caratteristiche tecniche del freno Schenck, estrapolate dal manuale di uso e manutenzione fornito dalla casa costruttrice.

Tabella 5.2. Caratteristiche tecniche del freno Schenck

Caratteristiche tecniche del freno Schenck	
POTENZA MASSIMA DISSIPABILE	40 kW
REGIME DI ROTAZIONE MASSIMO	17000 giri/min
BRACCIO DELLA CELLA DI CARICO	0,358 m
MASSIMO MOMENTO TORCENTE	75 Nm
MASSIMO DISASSAMENTO TOLLERABILE	1 mm (2 mm all'avvio)

Il freno è equipaggiato per il collegamento a tensione alternata monofase 220 V, 50 Hz o 60 Hz rispettivamente 12 A, ma può funzionare anche con tensioni comprese tra 205 V e 235 V. Altri valori di tensione necessitano di un trasformatore opportuno.

Per la misura della coppia erogata dal motore viene impiegata una cella di carico.
Il principio su cui si basa questo trasduttore è di tipo estensiometrico: tramite una misura di deformazione di un dato corpo e dalla conoscenza del suo modulo elastico, determiniamo il suo stato di sollecitazione. Il trasduttore utilizzato è la cella di carico U2A prodotta dalla HBM.
Il trasduttore è una molla di misura realizzata in acciaio a cui sono applicati otto estensimetri. L'elemento di misura è la parte superiore dell'involucro del trasduttore. Gli estensimetri sono disposti in modo tale che quattro di loro rilevano gli sforzi positivi e quattro gli sforzi negativi se la molla è caricata nella direzione della misura.
La cella di carico è dotata di un circuito a ponte con tutte le resistenze di correzione e compensazione, che sono utilizzate per sopprimere eventuali influenze sul segnale di zero, sulla sensibilità e sulla caratteristica.
La forza che agisce lungo la direzione di misura deforma flessibilmente l'elemento di misura e quindi gli estensimetri variano la loro resistenza ohmica proporzionalmente alla loro variazione di lunghezza. In questo modo si genera una squilibrio nel circuito di misura a ponte di Wheatstone.
Quando al ponte viene applicata una corrente di eccitazione il circuito fornisce una differenza di potenziale proporzionale alla variazione di resistenza dei suoi elementi e quindi alla forza applicata all'elemento sensibile. Sollecitazioni di torsione, flessione e carichi concentrati influenzano negativamente la cella e, pertanto, devono essere evitati.
Gli effetti della temperatura sul bilanciamento dello zero e sulla sensibilità sono compensati; i cambiamenti della pressione ambiente agiscono come un carico addizionale tuttavia queste variazioni sono poco apprezzabili nel caso di grandi carichi nominali. Per conseguire i migliori risultati nelle misure deve essere rispettato il campo nominale di temperature; le migliori condizioni sono quelle in cui le temperature si mantengono costanti o debolmente variabili. Gradienti di temperatura indotti nel trasduttore da riscaldamento o raffreddamento su di un lato inducono rilevanti errori di misura. La pressione ambiente dovrebbe essere compresa fra 0 e 5 bar e si nota come la variazione di tale pressione può provocare una deriva dello zero.

Il misuratore del numero di giri consiste in una ruota con 60 denti posta all'estremità dell'albero del freno ed in un rilevatore di numero di giri. Gli impulsi del rilevatore sono trasmessi tramite un convertitore della tensione ad impulso, ad uno strumento analogico e digitale del quadro di comando del freno.

L'altra estremità dell'albero del freno è invece dotata di una flangia per il collegamento dell'albero del motore in prova.

Tutte le apparecchiature di controllo e di comando del freno a correnti parassite sono contenute nell'armadio Schenck collocato nell'anticamera della cella motore. Tali apparecchiature sono:

- Apparecchio di comando Schenck LSG 24/18;
- Contatore universale Schenck LUZ 11/36;
- Amplificatore della cella di carico;
- Indicatore analogico a bobina mobile HBM GA 03/411.

Per l'analisi dei gas di scarica si è utilizzato l'analizzatore Bosch un sistema di misurazione trasportabile a struttura modulare per l'analisi dei gas di scarico di veicoli con motore a ciclo Otto e Diesel la cui precisione di misura secondo OIML R99 è di classe 0.

L'abbreviazione DTM sta per modulo numero di giri-temperatura ed è un sistema che consente di avere le funzioni di misurazione della temperatura dell'olio, attraverso un sensore di temperatura (per i motori a due tempi tale funzione è inutilizzata), di misurazione del numero di giri, della tensione della sonda lambda, dell'angolo di chiusura e di accensione, di valutazione dell'inizio mandata e di misurazione del numero di giri attraverso un trasduttore PMS.

L'analisi dei gas di scarico avviene attraverso il modulo di misura AMM che consente di misurare le concentrazioni dei seguenti componenti dei gas di scarico: CO, HC, CO_2 e NO_X. Il valore lambda (λ) viene calcolato dai valori dei gas rilevati.

I campi di misura del modulo AMM vengono riportati nella tabella 5.3.

Per la misurazione dei contenuti di CO, CO_2 e HC viene adoperato il metodo non dispersivo a raggi infrarossi (NDIR - Spettroscopia non dispersiva a raggi infrarossi). La quantità di ossigeno viene rilevata mediante un sensore a funzionamento elettrochimico.

Tabella 5.3. Campi di misura del modulo AMM

CAMPI DI MISURA dell'ANALIZZATORE BOSCH			
Componente	**Descrizione**	**Conc. Min.**	**Conc. Max.**
CO	Monossido di carbonio	0 %vol	10,00 %vol
HC	Idrocarburi	0 ppm	99999 ppm
CO_2	Diossido di carbonio	0 %vol	18 %vol
O_2	Ossigeno	0 %vol	22 %vol
NO_X	Ossidi di azoto	0 ppm	5000 ppm
λ	Valore lambda	0,500	9,999

Il gas che deve essere misurato viene dapprima depurato da particelle ed aerosol attraverso un cascata di filtri. Le particelle sono elementi solidi come la polvere o la fuliggine mentre gli aerosol sono costituiti da minuscole goccioline di liquido. Essi si possono depositare lungo il percorso del gas e nelle celle di analisi formando una pellicola. Per evitare danni all'apparecchio di analisi è necessario quindi fare attenzione al corretto filtraggio e ad una corretta sostituzione dei filtri. L'analizzatore Bosch è dotato di tre tipi di filtri: GF1, GF2 e GF3.
Il filtro GF1 depura il deflusso del gas dalle particelle più grandi e quindi deve essere sostituito più di frequente per evitare uno scarso passaggio del gas da analizzare. Il filtro GF2 depura il gas di scarico dall'aerosol e da ulteriori particelle, mentre il GF3 è previsto per la protezione delle pompe.
Gli altri elementi che costituiscono l'analizzatore Bosch BEA 350 sono l'opacimetro RTM 430, il trasduttore per il valore misurato NO_X ed il trasduttore del valore misurato O_2. Quest'ultimi contengono rispettivamente un soluzione acida e basica e quindi è richiesta molta attenzione nel manipolare questi dispositivi.

5.1.2. Protocollo di sperimentazione

La legislazione a cui si fa riferimento durante lo svolgimento dei test, è il Decreto Ministeriale 15 settembre 2004 che recepisce la Direttiva 2002/88/CE. Il D.M. stabilisce che i motori destinati ad essere montati su macchine mobili non stradali, alimentati a benzina ed aventi una potenza

non superiore ai 19kW,vengono testati in conformità all’allegato IV, punti 2 e 3.

A seconda della classe di appartenenza delle macchine, le emissioni di CO (monossido di carbonio), HC (idrocarburi incombusti), NO_X (ossidi di azoto) e $HC+NO_X$ (sommatoria di idrocarburi e ossidi di azoto)non devono superare i valori imposti dalla direttiva. Nella fattispecie, per la Motosega Alpina P500 (classe S e categoria SH3, data la cilindrata maggiore di $50cm^3$) i limiti previsti rispettivamente per la I fase e II fase nonché le scadenze entro le quali i costruttori di questa tipologia di macchine devono adeguare i propri prodotti, vengono riportati nella tabella 5.4.

Tabella 5.4. Limiti previsti nella I Fase e nella II Fase

LIMITI IMPOSTI DAL D.M. 15 SETTEMBRE 2004 PER LA CLASSE SH3					
Classe	**Monossido di carbonio** **CO** g/kWh	**Idrocarburi** **HC** g/kWh	**Ossidi di Azoto** **NO_X** g/kWh	**Somma ossidi di azoto ed idrocarburi** **$HC+NO_X$** g/kWh	**Scadenza adeguamento**
SH3	603	161	5,36	-	11 agosto 2004
	603	-	-	72	1 agosto 2008

La strategia in due fasi promossa dalla Direttiva Europea, e recepita dal D.M. del 2004, ha lo scopo di consentire un graduale adeguamento tecnologico delle ditte costruttrici e prevede anche delle deroghe di tre anni per la seconda fase per tutti i costruttori di motori in piccole serie e cioè con produzione inferiore alle 25000 unità/anno.

Per quanto riguarda le modalità di valutazione delle emissioni inquinanti di cui al punto 2 dell’allegato IV, si stabiliscono le condizioni di prova necessarie allo svolgimento dei test, le caratteristiche tecniche del sistema di aspirazione, scarico e raffreddamento del motore, le caratteristiche tecniche del carburante e dell’olio lubrificante e la regolazione al dinamometro.

Al punto 3 del medesimo allegato, vengono altresì definite le modalità per l’esecuzione della prova come il posizionamento dell’apparecchiatura di misurazione, l’avviamento del sistema di diluizione del motore, la regolazione del rapporto di diluizione, controllo degli analizzatori e

funzionamento del motore al dinamometro, conformemente al ciclo di prova prestabilito in base al tipo di macchina.

Per quanto concerne le macchine portatili (soffianti, motoseghe tagliasiepe, decespugliatori, ecc.) il ciclo di prova è quello denominato G3, che prevede il campionamento dei gas di scarico durante due modalità; la prima da eseguirsi a regime minimo e la seconda a regime nominale con il 100% del carico applicato, dove per carico si intende la frazione della coppia massima disponibile ad una data velocità del motore. I valori di emissione espressi in %vol (percentuale di volume) o ppm (parti per milione) di ogni singolo componente gassoso ottenuti durante le due modalità, vengono dapprima convertiti in portata massica di emissione (g/h) e successivamente mediati con il calcolo delle emissioni specifiche (g/kWh) utilizzando gli opportuni fattori di ponderazione. Nella tabella 5.5 viene schematizzata la procedura di prova relativa al ciclo G3 e i fattori di ponderazione corrispondenti.

Tabella 5.5. Procedura di prova ciclo G3

CICLO G3			
Numero modalità		1	2
Regime del motore		Regime nominale	Regime minimo
Carico %		100	0
Fattore di ponderazione	I FASE	0,90	0.10
WF_i	II FASE	0,85	0,15

Conformemente al D.M. 15 settembre 2004, per l'esecuzione delle prove sulla motosega Alpina P500, sono state eliminate le apparecchiature e i dispositivi ausiliari che potrebbero falsare i risultati assorbendo potenza dal motore. Pertanto la macchina è stata privata della barra di taglio e quindi del carter-frizione. Viene inoltre asportato il rocchetto a campana della frizione centrifuga per consentire l'inserimento della campana speciale da ancorare alla flangia del freno Schenck.

Altre modifiche si sono rese necessarie per adattare l'uscita dei gas di scarico del silenziatore alla sonda dell'analizzatore BEA 350 Bosch. Come accennato precedentemente, il problema è stato risolto saldando sul tubo di

scappamento un raccordo filettato sul quale viene avvitato un flessibile a sua volta fissato all'innesto speciale.

Un'altra modifica ha riguardato il collegamento del macchina con il circuito di rifornimento e di valutazione dei consumi. Per le motoseghe Alpina è stato scollegato il raccordo del carburatore al tubo di aspirazione della miscela, collegandolo poi al tubo di alimentazione proveniente dal circuito del carburante. Questo tubo è stato fatto passare nel vano carburatore sotto il coprifiltro attraverso la piastra supporto carburatore evitando di farlo interferire con i leveraggi dell'acceleratore.

Infine, per la valutazione della temperatura della testata della macchina alle varie modalità di prova, è stata fissata con uno speciale mastice, una termocoppia in prossimità della candela. Collegando quest'ultima con un Tester dotato di convertitore di impulsi che converte gli impulsi elettrici in valori di temperatura espressi in °C.

Questa metodologia di analisi, se pur in grado di fornire un ordine di grandezza delle temperature in gioco, non è esente da errori, dovuti alla probabile non perfetta aderenza della termocoppia sulla testata. Per questo, in futuro, si provvederà ad applicare una termocoppia direttamente all'interno di una candela, in modo da ottenere valori di temperatura più precisi.

Di seguito vengo riportate in modo dettagliato le operazioni necessarie per l'accoppiamento delle motoseghe con il banco freno Schenck W40 e l'analizzatore per gas di scarico Bosch BEA 350, nonché le fasi che portano all'ottenimento dei valori sperimentali di concentrazione dei componenti tossici contenuti nei gas di scarico e di quelli necessari alla caratterizzazione dei motori.

1. preparazione della motosega: la motosega viene privata dei dispositivi ausiliari e fissata alla culla di ancoraggio al banco freno;
2. messa al banco delle macchine in prova: dopo aver imbullonato il complesso macchina-culla al telaio regolabile del banco freno, avviene la regolazione di quest'ultimo in modo tale da portare in linea l'albero motore della macchina con l'asse di rotazione del freno;

3. preparazione della cella motori del freno Schenck e dell'analizzatore Bosch: i dispositivi in questione vengono accesi e regolati in base alla prova da eseguire. L'analizzatore viene calibrato e si valutano eventuali perdite del sistema;
4. rifornimento del serbatoio del circuito del carburante per la valutazione dei consumi, con la miscela che si vuole testare;
5. valutazione delle caratteristiche ambientali della cella motore;
6. accensione della macchine;
7. carburazione delle macchina: la carburazione viene effettuata solo all'inizio di un ciclo di prova in modo da ottenere dei dati confrontabili;
8. rodaggio: la motosega rimane accesa al minimo per circa 15'poi, per circa un minuto si accelera e si decelera per stabilizzare i parametri motoristici;
9. analisi del gas di scarico emesso dalla motosega secondo le modalità di prova previste dal D.M. 15 settembre 2004: l'analisi viene condotta al minimo ed al massimo numero di giri, applicando però in quest'ultimo caso, un carico tale da stabilizzare la rotazione del motore al valore presso il quale la macchina esplica la coppia massima (100%carico). I valori di emissione vengono memorizzati dopo i primi 180s e poi dopo ogni 30s circa

Durante il ciclo di prova si sono confrontati i valori di emissione ottenuti con biolubrificanti di origine vegetale con quelli rilevati utilizzando miscela a base di lubrificante sintetico tradizionale. Nella tabella 5.6 che segue sono riportati i materiali usati durante questo primo ciclo di prova.

Tabella 5.6. Caratteristiche lubrificanti utilizzati nella sperimentazione

Denominazione	Tipologia	Densità (kg/dm^3)	Specifica
Castrol Garden Synthetic 2T Oil	Olio lubrificante	0,865 a 20°C	lubrificante completamente sintetico e ad alte prestazioni, studiato per piccoli motori a due tempi raffreddati ad aria
Olio di colza	Olio lubrificante	0,91 a 15°C	Lubrificante vegetale
Esteri metilici	Olio lubrificante	0,88 a 20°C	Esteri ottenuti dalla transesterificazione di oli vegetali

Per la miscelazione dei lubrificanti viene impiegata la benzina speciale denominata UTG-96, per prove motori , prodotta dalla Chevron Phillips

Chemicals con sede in Brusselsesteenweg Overijse (Belgio) commercializzata in fusti da 54 galloni (circa 200 litri) corrispondenti a circa150 kg, ed avente una densità di 0,731 kg/dm^3 a 15°C. La specifica di impiegare un carburante speciale per prove di valutazione delle emissioni inquinanti è esplicitamente richiesto dalla Direttiva 2002/88/CE. Questo prodotto inoltre rispetta le specifiche del Federal Regulation CFR-40, Part 86.113, ed è indicato per l'uso nei test di certificazione delle emissioni. Nella tabella 5.7sono riportate le caratteristiche del carburante speciale.

Tabella 5.7. caratteristiche del carburante speciale

CARBURANTE TIPO UTG-96				
Proprietà		Valori tipici	Valori specifici	Metodo di prova
Corrosione del rame dopo 3 h a 50° C		1	1 max	ASTM D 130
API gravity a 60° F		59,8	58,7-61,2	ASTM D 1250
Peso specifico a 60/60° F		0,740	0,734-0,744	ASTM D 4052
Stabilità all'ossidazione		1440+	1440 min	ASTM D 525
Densità carbonio		2420	20401-2441	Calcolato
Gomma esistente, mg/100ml		1,0	5 max	ASTM D 381
Contenuto di piombo, g/gal		0,001	0,05 max	ASTM D 3237 Modificato
Contenuto di zolfo, wt %		0,005	0,1 max	ASTM D 3120
Contenuto di fosforo, g/gal		0,001	0,005 max	ASTM D 3231
Contenuto di alcool, % vol		0,00	0,00 max	Procedura EPA 10
Pressione di vapore a 100° F, psia		9,0	8,7-9,2	ASTM D 323
Ricerca numero di ottani		96,1	96,1	ASTM D 2899
Numero di ottani		87,0		ASTM D 2700
Sensibilità		9,0	7,5	Calcolato
Intervallo di distillazione a 760mmHg, ° F				ASTM D 86
	Punto di inizio ebollizione	91	75-96	
	10%	128	120-135	
	50%	220	200-230	
	90%	309	300-325	
	Punto di fine ebollizione	409	415 max	
Composizione, vol%				ASTM D 1319
	Olefine	5	10 max	
	Aromatici	28	35 max	
	Saturi	67	residuo	
Calore di combustione, Net, Btu/Ib		18400		ASTM D 3338
Contenuto di carbonio, wt %		86,5		
Contenuto di idrogeno, wt %		13,5		
Indice antidetonanti, (R+M)/2		92,0		Calcolato

Per quanto concerne l'olio lubrificante, il D.M. 15 settembre 2004 non prevede alcun caratteristica standard, stabilendo nel punto 2.5 dell'allegato

IV che "*i costruttori devono utilizzare lubrificanti rappresentativi dei lubrificanti per motori disponibili in commercio*".

5.1.3. Risultati della sperimentazione

Nella tabella 5.8 vengono riportati i valori mediati, espressi in %vol delle emissioni dei singoli componenti gassosi ottenuti durante la sperimentazione.

Tabella 5.8. Valori medi delle emissioni in % vol

	Garden 2T		Metil estere		Olio di colza	
	I modalità	II modalità	I modalità	II modalità	I modalità	II modalità
HC	0,574	1,390	0,454	1,263	0,633	1,351
CO	5,380	4,633	3,780	4,056	4,957	4,114
CO_2	6,800	2,076	7,144	1,950	6,306	1,864
NO_X	0,009	0,009	0,018	0,006	0,003	0,003

In particolare sono messe a confronto i valori delle emissioni ottenute utilizzando olio sintetico e 2 tipologie di biolubrificanti costituiti da esteri metilici e olio di colza tal quale. Le concentrazioni dei gas combusti sono espresse in %vol (percentuale di volume) e quindi è necessaria la loro conversione in g/kWh (portata massica d'emissione) per il confronto con i limiti del D.M. 15 settembre 2004.
L'allegato IV dell'appendice 3 della suddetta direttiva riporta le formule necessarie alla conversione dei valori sperimentali.
Conversione secco umido
La conversione delle concentrazioni da secco ad umido, nel nostro caso non è necessaria poiché l'analizzatore BOSCH BEA 350 esegue il rilevamento direttamente sull'umido. Tuttavia a titolo informativo, si riportano le formule per l'elaborazione dei valori:

$$conc\,(umido) = k_w \times conc\,(secco)$$

$$k_w = \frac{1}{1 + \alpha \times 0{,}005 \times (\%CO[secco] + \%CO_2[secco]) - 0{,}01 \times \%H_2[secco] + k_{w2}}$$

H_2 e k_{w2} si calcolano nel modo seguente:

$$H_2[secco] = \frac{0,5 \times \alpha \times \%CO[secco] \times (\%CO[secco] + \%CO_2[secco])}{\%CO[secco] + (3 \times \%CO_2[secco])}$$

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times H_a}{1000 + (1,608 \times H_a)}$$

Calcolo della portata massica d'emissione

La portata massica di emissione Gas_{mass} [g/h] per ciascuna modalità si calcola come segue:

$$Gas_{mass} = \frac{MW_{Gas}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(\%CO_2[umido] - \%CO_{2AIR}) + \%CO[umido] + \%HC[umido]\}} \times \%conc \times G_{FUEL} \times 1000$$

dove:

$\boldsymbol{G_{FUEL}}$[kg/h] è la portata massica del carburante.

$\boldsymbol{MW_{Gas}}$[kg/kmole] è il peso molecolare di ciascun gas indicato nella tabella seguente:

Gas	MW_{Gas}[kg/kmole]
NO_X	46,01
CO	28,01
HC	MW_{HC}=MW_{FUEL}
CO_2	44,01

$\boldsymbol{MW_{FUEL}}$ = 12,011 + α × 1,00794 + β × 15,9994 [kg/kmole] è il peso molecolare del carburante, dove α è il rapporto idrogeno-carbonio e β è il rapporto ossigeno-carbonio del carburante.

$\boldsymbol{CO_{2AIR}}$ è la concentrazione di CO_2 nell'aria d'alimentazione. All'inizio d'ogni analisi, vengono rilevate con il BOSCH le concentrazioni di HC, CO, NO_X, O_2 e CO_2, presenti nell'atmosfera della cella motore, per le opportune decurtazioni dai risultati finali. Quando la CO_{2AIR} non viene rilevata, la direttiva la pone pari allo 0,04%.

%conc è la concentrazione espressa in %vol (percentuale di volume) del gas campionato con l'analizzatore.

%HC,%CO,%CO₂ sono rispettivamente le concentrazioni di idrocarburi incombusti, monossido di carbonio ed anidride carbonica, espresse sempre in %vol, rilevate con l'analizzatore. Tuttavia il BOSCH esprime le

concentrazioni di HC ed NO_X in ppm e quindi prima della loro elaborazione e necessaria la conversione in %vol applicando la formula che segue:

$$\%vol = \frac{ppm}{10000}$$

Calcolo delle emissioni specifiche

Le emissioni specifiche espresse in (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate nel modo seguente:

$$Singolo\ gas = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Gas_{mass_i} \times WF_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i \times WF_i\right)}$$

dove:

WF_i rappresenta i fattori di ponderazione previsti per la I e II fase di attuazione della direttiva.

P_i è la potenza massima misurata alla velocità di prova nelle condizioni di prova, calcolata con la formula $P_i = P_{M,i} + P_{AE,i}$. $P_{M,i}$ rappresenta la potenza misurata con le differenti modalità di prova e $P_{AE,i}$ quella totale assorbita da eventuali dispositivi ausiliari applicati per la prova. Nel nostro caso, questa componente è pari a 2 kW per la prima modalità e 0 kW per la seconda modalità, dato che la macchina testata viene privata di tutti i dispositivi ausiliari.

Calcolo della portata massica del carburante

Per la valutazione dei consumi ci si avvale di un *circuito di rifornimento* costituito da un serbatoio da 2 litri collegato ad un buretta graduata da 25cm^3, attraverso un tubo. Da questo a sua volta si dirama il tubo d'alimentazione della macchina. Per valutare i consumi in entrambe le modalità di prova, si chiude il rubinetto che regola l'afflusso della miscela dal serbatoio alla buretta in modo che il carburante consumato dalla macchina sia quello contenuto nella buretta stessa.

Cronometrando il tempo necessario all'esaurimento dei 25cm^3 del contenitore graduato, si ottiene il valore di consumo espresso in cm^3/s. La conversione dei consumi espressi come tempo necessario al consumo di

25cm^3 di miscela, in kg/h (portata massica del carburante, G_{FUEL}) si esegue applicando la seguente formula:

$$G_{FUEL} = \frac{\frac{25}{1000} \times D_{miscela}}{\frac{min}{60} + \frac{sec}{3600} + \frac{centesimi}{360000}}$$

dove:

$D_{miscela}$ [kg/dm^3] è la densità della miscela, calcolata con la formula:

$$D_{miscela} = \frac{0{,}96 \times D_{benzina} + 0{,}04 \times D_{\text{lub}\,rificante}}{1000}$$

La $D_{benzina}$ e la $D_{lubrificante}$, sono rispettivamente i valori di densità della benzina e del lubrificante [kg/dm^3], riportati nelle schede di sicurezza dei prodotti.

Calcolo della potenza assorbita durante la modalità di prova

Pur costatando che per i motori endotermici a due tempi, il valore di potenza massima si esprime all'incirca allo stesso numero di giri in cui la macchina esplica il massimo valore di coppia, per una maggiore precisione si applica la formula seguente per il calcolo della potenza assorbita durante la modalità di prova. Il valore P_i ottenuto, si sostituisce nella formula per il calcolo delle emissioni specifiche.

$$M[Nm] = K \times b$$
$$P_i[kW] = M\omega$$

dove:

M rappresenta la coppia motrice ad un certo numero di giri che si ottiene dal prodotto tra *K* (carico applicato dal freno ed espresso in N) e *b* braccio di leva (distanza tra l'asse del rotore del freno dinamometrico e la cella di carico, pari a 0,358m). La potenza *P* si ottiene invece moltiplicando *M* (valore di coppia) per ω velocità angolare calcolate dalla formula:

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

dove:

f rappresenta la frequenza ad un certo regime del motore:

$$f = \frac{numero\ giri\ minuto}{60}$$

Il superamento del limite di anche uno solo degli inquinanti gassosi, implica la non omologabilità della macchina.

Nella tabella 5.9 sono riportati i valori delle emissioni espresse in g/kWh relativi alle prove effettuate, in modo da confrontarle con i limiti imposti dalla direttiva.

Tabella 5.9. Valori delle emissioni in g/kWh

	Garden 2T		Metil estere		Olio di colza	
	I Fase	II Fase	I Fase	II Fase	I Fase	II Fase
HC	23,85	25,03	21,4	22,6	27,98	29,249
CO	486,5	495,54	386,07	394,89	480,5	489,38
CO_2	946,44	952,8	1113,25	1119,92	941,02	947,02
NO_X	1,34	1,37	2,93	2,95	0,48	0,49

Nelle figure 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, si confrontano le emissioni specifiche di ogni singolo componente verificando i limiti imposti dalla normativa vigente.

Analizzando i dati si nota che i valori delle emissioni dei lubrificanti utilizzati per la sperimentazione di origine vegetale, rientrano nei limiti imposti dalla normativa inoltre durante le prove non si è notata nessuna differenza di efficienza della motosega al cambio dell'olio motore utilizzato. In base alle prove effettuate si può osservare che i biolubrificanti possono sostituire l'olio sintetico, garantendo le stesse proprietà di lubrificazione ma una biodegradabilità più alta e un grado di tossicità inferiore.

Figura 5.1. Confronto emissioni di HC in g/kWh

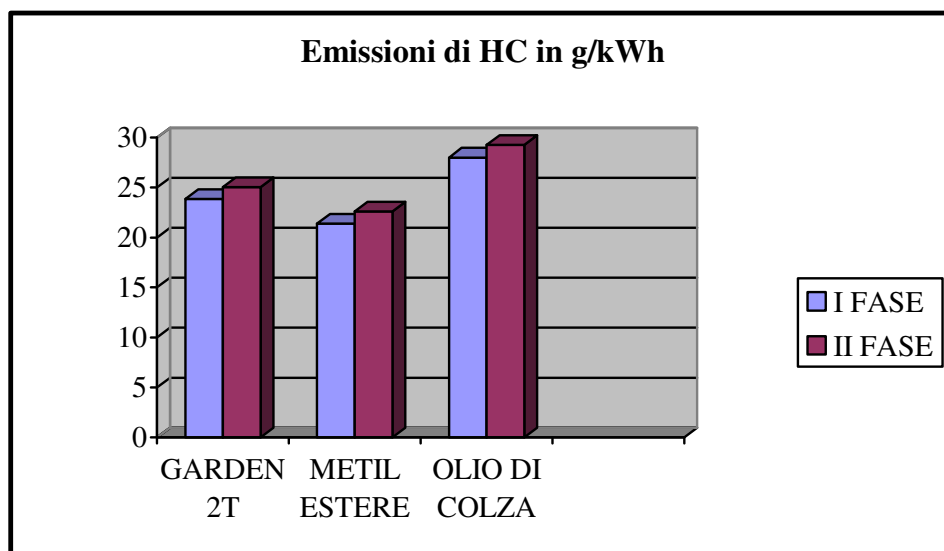



Figura 5.2. Confronto emissioni di CO in g/kWh

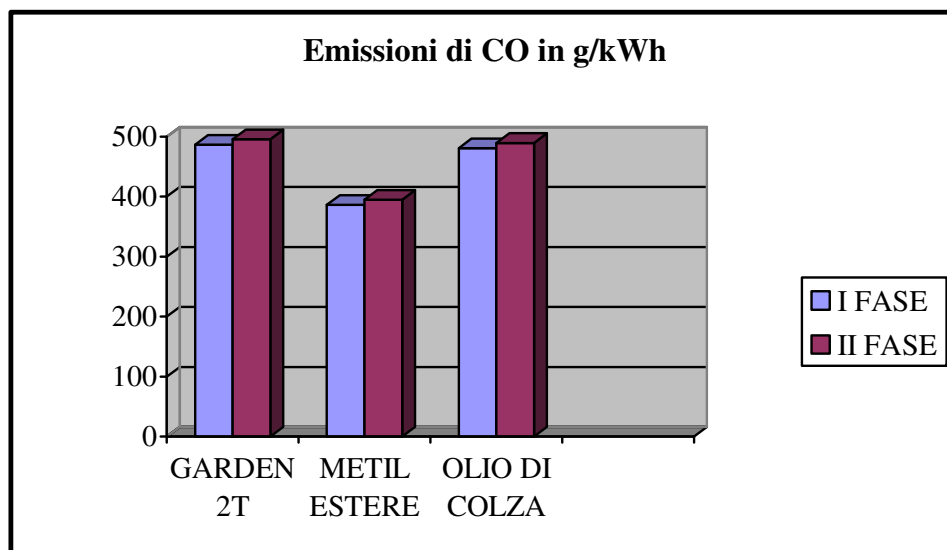



Figura 5.2. Confronto emissioni di CO_2 in g/kWh

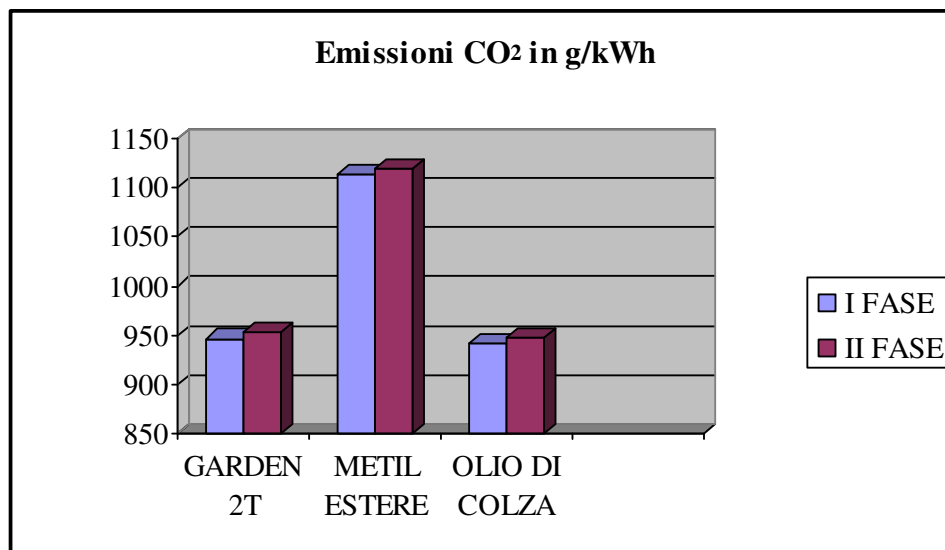



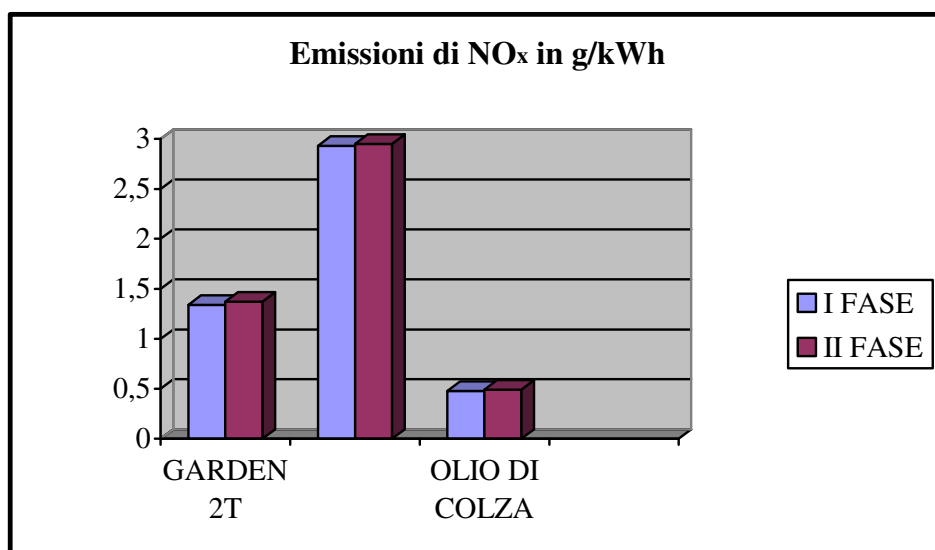
Figura 5.3. Confronto emissioni di NO_x in g/kWh

Confrontando le emissioni specifiche dei tre lubrificanti utilizzati si ha che per quanto riguarda HC e il monossido di carbonio risulta essere il Metilestere l'olio motore che comporta la minor presenza dei due inquinanti nei gas di scarico, un discorso particolare deve essere fatto per l'anidride carbonica e gli ossidi di azoto. La quantità di CO_2 presente nei gas è costituita da una parte di anidride carbonica rinnovabile dovuta alla presenza di un lubrificante di origine vegetale, mentre l'emissioni di NO_x, più elevata rispetto agli altri lubrificanti, deriva dalla presenza nel Metilestere di una elevata percentuale di ossigeno che durante la combustione determina la formazione di NO_x. L'elevato contenuto in ossigeno nel Metilestere consente una miglior combustione e quindi una minor formazione di monossido di carbonio.
L'utilizzo nel motore di olio di colza, comporta, valori di emissioni analoghe al lubrificante sintetico, si ha una diminuzione della quantità di NO_x presente nei gas di scarico.
Durante le prove si e valutata anche il valor medio della temperatura della testata , in tabella 5.10 sono riportate le temperature medie registrate per la prima e la seconda modalità di prova.

Tabella 5.10. Valori medi di temperatura ^oC

	GARDEN 2T	METIL ESTERE	OLIO DI COLZA
I Modalità	239,8	214,2	255,4
II Modalità	100,4	98,1	102,8

Date le temperature di funzionamento della motosega è consigliabile l'utilizzo del Metilestere e non dell'olio di colza che comincia a deteriorare per temperature al di sotto dei 70^oC, con formazione di depositi nel motore e quindi riduzione dei tempi di lavoro dello stesso. I lubrificanti costituiti da metileseteri resistono a temperature al di sopra dei 70^oC, inoltre sono meno soggetti a degradazione per ossidazione.

5.2. Utilizzo di biolubrificanti in macchine agricole

Nessuna macchina è così adatta all'utilizzo di lubrificanti a base di olio vegetale come le apparecchiature agricole, lavorano infatti in stretto

contatto con l'ambiente e una perdita di lubrificante comporta contaminazione della terra, dell'acqua e delle colture alimentari presenti.

L'uso di lubrificanti di origine vegetale nel trattore fornisce inoltre l'occasione di generare un ciclo continuo in cui l'apparecchiatura agricola è lubrificata da un olio prodotto a partire da colture coltivate dalla stessa macchina.

I lubrificanti a base di oli vegetali non sono adatti all'utilizzo come oli motore, ma possono essere utilizzati come liquidi per la trasmissione. I requisiti principali di un olio per trasmissioni sono:

- controllo di viscosità;
- resistenza alla corrosione;
- stabilità idrolitica;
- compatibilità con la guarnizione;
- stabilità all'ossidazione.

In dettaglio si riporta uno studio effettuato da Lubrizol che ha preso in considerazione olio di girasole alto oleico e olio di colza, studiando in pacchetti di additivi più idonei (Tab.5.11,5.12)

Tabella 5.11. Composizione olio per trasmissione a base di olio di colza

Componente	Funzione	% presente nel lubrificante
Olio di colza	Olio di base	69,0
Lubrizol 9999	Pacchetto additivi	31,0

Tabella 5.11. Composizione olio per trasmissione a base di olio di girasole alto oleico

Componente	Funzione	% presente nel lubrificante
Olio di girasole alto oleico	Olio di base	69,0
Lubrizol 9999	Pacchetto additivi	31,0

Si sono valutate le prestazioni del lubrificante a base di olio di colza da utilizzare sia come olio per trasmissioni verificando: un eccellente antiwear, una elevata resistenza termica ed ossidativi che ne permette l'utilizzo per una vasta gamma di applicazioni del trattore, proprietà reologiche paragonabili ad un olio minerale, oltre ad ottime caratteristiche di biodegradabilità e di ecotossicità.

Per quanto riguarda l'utilizzo del biolubrificante come olio idraulico, le prove effettuate da Lubrizol hanno dimostrato una buona resistenza alla frizione garantendo anche un ottima prestazione dei freni, inoltre si è riscontrata una diminuzione della perdita per evaporazione dell'olio dovuto alla volatilità più bassa dell'olio vegetale rispetto all'olio minerale. Non sono stati riscontrati problemi per quanto riguarda la corrosione o la compatibilità con le guarnizione, è consigliato un utilizzo per temperature comprese tra – 20°C e + 40°C.

CONCLUSIONI

I biolubrificanti di origine vegetale risultano essere competitivi con gli oli minerali per quanto riguarda gli aspetti tecnici, soprattutto se utilizzati come olio motore per motori a due tempi, e come olio idraulico.

Come si è ampiamente sottolineato i settori in cui i lubrificanti vegetali risultano ricoprire un ruolo importante sono quello agricolo e forestale, dato il contatto diretto degli oli con l'ambiente circostante.

Nonostante i vantaggi tecnici ed ambientali, i biolubrificanti sono ancora poco diffusi. In Italia si hanno in commercio solo oli per catene di motoseghe di origine vegetale, in Francia e Germania si hanno lubrificanti di origine vegetale per qualsiasi utilizzazione ma ancora non è presente un vero e proprio mercato competitivo con quello degli oli minerali.

Le cause di questa situazione sono notevoli, per meglio comprenderle è interessante analizzare quello che succede nel mercato francese, che rappresenta un esempio che può essere esteso anche alla situazione italiana.

La conoscenza dei biolubrificanti da parte dei potenziali utilizzatori resta limitata, infatti, da una parte alle imprese che sono state coinvolte nei progetti di AGRICE[2] e dall'altra da utilizzatori operanti in aree geografiche particolari.

Lo sforzo commerciale per far conoscere e diffondere i prodotti vegetali è stato debole, inoltre le attività della filiera si è essenzialmente concentrata sulla parte agricola e non sullo sviluppo del prodotto finito.

I maggiori freni che sono stati riscontrati in Francia allo sviluppo dei biolubrificanti sono stati:

- ✓ assenza di normativa nazionale e locale di incentivazione, a differenza di quello che succede in Germania dove si ha l'obbligo di utilizzo di biolubrificanti nei piccoli motori navali e per tutti gli utilizzi in aree protette;
- ✓ scarsa informazione sia nei confronti degli utilizzatori che verso i produttori;

---

[2] AGRICE: Agricolture pour la Chimie et l'Energie, fondata in Francia nel 1994 dai ministeri dell' Agricoltura, dell'Ambiente, dell'Industria, della Ricerca con la collaborazione di ADAME. Si occupa di programmi di ricerca relativi alla valorizzazione delle produzioni agricole da utilizzare per produzioni energetiche , chimiche e dei materiali.

- ✓ costo del ciclo di vita non competitivo con quello degli oli minerali.

Tutte le problematiche su esposte possono essere superate mettendo in evidenza il carattere biodegradabile e non tossico dei biolubrificanti, sviluppando un vero e proprio “mercato verde”, si hanno infatti vari utilizzatori che sono già all’interno di questo mercato e sono alla ricerca di prodotti completamente naturali. È il caso ad esempio dei produttori di coltivazioni biologiche che garantirebbero in questo modo la totale assenza dal terreno di prodotti tossici, o degli addetti alla manutenzione di aree protette che utilizzerebbero olio vegetale riducendo l’impatto ambientale legato alle utilizzazione ad esempio di apparecchiature forestali.
Un aiuto sotto questo punto di vista è arrivato con l’introduzione dei biolubrificanti vegetali tra i prodotti che possono richiedere l’etichetta ecologica europea Ecolabel.
Un ulteriore incentivo può essere rappresentato da politiche nazionali che incentivano economicamente lo sviluppo di filiere per la produzione di lubrificanti vegetali, come avviene in Germania dove è presente un programma nazionale per l’introduzione dei biolubrificanti nel mercato tedesco.

APPENDICE

Decreto 15 settembre 2004

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Recepimento della direttiva 2002/88/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 dicembre 2002, che modifica la direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente i provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali.

(GU n. 87 del 15-4-2005- Suppl. Ordinario n.64)

IL MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
di concerto con
IL MINISTRO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI
e
IL MINISTRO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO

Visto l'art. 229 del nuovo codice della strada approvato con decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 114 del 18 maggio 1992 che delega i Ministri della Repubblica a recepire, secondo le competenze loro attribuite, le direttive comunitarie concernenti le materie disciplinate dallo stesso codice;
Visti i commi 5 e 7 dell'art. 106 ed il comma 1 dell'art. 114 del nuovo codice della strada che stabiliscono la competenza del Ministro dei trasporti, ora del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, a decretare di concerto con il Ministro dell'agricoltura e delle foreste, ora con il Ministro delle politiche agricole e forestali, e con il Ministro dell'ambiente, ora con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, in materia di norme costruttive e funzionali, nonche' in materia di emissioni inquinanti, delle macchine agricole e delle macchine operatrici ispirandosi al diritto comunitario;
Visto il decreto del Ministro dei trasporti e della navigazione del 20 dicembre 1999, pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 32 del 9 febbraio 2000, di attuazione della direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente i provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali;
Visto il decreto del Ministro dei trasporti e della navigazione del 1° giugno 2001, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 147 del 27 giugno 2001, di recepimento della rettifica alla direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio;
Visto il decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 20 giugno 2002, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 154 del 3 luglio 2002, di recepimento della direttiva 2001/63/CE della Commissione che adegua al pregresso tecnico la direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio;
Vista la direttiva 2002/88/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 dicembre 2002, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea n. L 35 dell'11 febbraio 2003, che modifica la direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente i provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali; Sentito il Ministro della salute;

Adotta

il seguente decreto:

Recepimento della direttiva 2002/88/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 dicembre 2002 che modifica la direttiva 97/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio concernente i provvedimenti da adottare contro l'emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali.

Art. 1.
1. Il decreto del Ministro dei trasporti e della navigazione 20 dicembre 1999, come modificato da ultimo dal decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 20 giugno 2002, e' modificato come segue:
a) all'art. 2:
1) l'ottavo trattino e' sostituito dal seguente:
« - immissione sul mercato, l'azione di rendere un motore disponibile per la prima volta sul mercato, a titolo oneroso o gratuito allo scopo di distribuirlo e/o usarlo nella Comunita»;
2) sono aggiunti i seguenti trattini:
« - motore di sostituzione, un motore di nuova costruzione destinato a sostituire il motore di una macchina, che viene fornito unicamente a tale scopo;
- motore portatile, un motore che soddisfa almeno una delle seguenti condizioni:
a. deve essere installato su un'apparecchiatura condotta da un operatore per tutta la durata della o delle funzioni cui e' adibita;
b. deve essere installato su un'apparecchiatura che, per svolgere la o le funzioni cui e' adibita, deve operare in diverse posizioni, ad esempio capovolta o di lato;
c. deve essere installato su un'apparecchiatura nella quale la somma del peso a secco, motore piu' apparecchiatura, non supera i 20 kg ed alla quale si applica almeno una delle seguenti caratteristiche:
1. l'operatore deve sostenere o trasportare l'apparecchiatura per tutta la durata della o delle funzioni previste;
2. l'operatore deve sostenere o dirigere l'apparecchiatura per tutta la durata della o delle funzioni previste;
3. il motore deve essere utilizzato in un generatore o in una pompa;
- motore non portatile, un motore che non rientra nella definizione di motore portatile;
- motore portatile ad uso professionale operante in diverse posizioni, un motore portatile che soddisfa le condizioni di cui ai punti 1) e 2) della definizione di motore portatile; e per il quale il costruttore di motori ha comprovato all'autorita' competente che al motore e' applicabile un periodo di durabilita' delle emissioni di categoria 3 conformemente al punto 2.1 dell'appendice 4 dell'allegato IV al presente decreto;
- periodo di durabilita' delle emissioni, il numero delle ore indicato nell'appendice 4 dell'allegato IV al presente decreto, per determinare i fattori di deterioramento;
- famiglia di motori ad accensione comandata in piccole serie, una famiglia di motori ad accensione comandata con una produzione totale annua inferiore a 5.000 unita';
- costruttore di motori ad accensione comandata in piccole serie, un costruttore la cui produzione totale annua di motori e' inferiore a 25.000 unita'.»;
b) all'art. 4:
1) il comma 2. e' modificato come segue:
1.1) nel primo periodo, l'espressione «allegato VI» e' sostituita con l'espressione «allegato VII»;
1.2) nel secondo periodo, l'espressione «allegato VII» e' sostituita con l'espressione «allegato VIII»;
2) il comma 4. e' modificato come segue:
2.1) nella lettera a), l'espressione «allegato VIII» e' sostituita con l'espressione «allegato IX»;
2.2) nella lettera b), l'espressione «allegato IX» e' sostituita con l'espressione «allegato X»;
3) il comma 5. e' modificato come segue:
3.1) l'espressione «allegato X» e' sostituita con l'espressione «allegato XI»;
c) all'art. 7, il comma 1. e' sostituito dal seguente:
«1. Le omologazioni e, se del caso, i relativi marchi di omologazione elencati nell'allegato XII al presente decreto sono considerate conformi al decreto stesso.»;
d) l'art. 9 e' modificato come segue:
1) nel comma 1. l'espressione «per un tipo di motore o una famiglia di motori» e' sostituita con l'espressione «per un tipo di motore o una famiglia di motori ad accensione per compressione» e l'espressione «allegato VI» e' sostituita dall'espressione «allegato VII»;
2) nel comma 2. l'espressione «allegato VI» e' sostituita dall'espressione «allegato VII» e l'espressione «punto 4.2.1 dell'allegato I» e' sostituita dall'espressione «punto 4.1.2.1 dell'allegato I»;
3) nel comma 3. l'espressione «allegato VI» e' sostituita dall'espressione «allegato VII» e l'espressione «punto 4.2.3 dell'allegato I» e' sostituita dall'espressione «4.1.2.3 dell'allegato I»;

4) nel primo periodo del comma 4. l'espressione «immissione sul mercato di motori nuovi» e' sostituita dall'espressione «immissione sul mercato di motori»;
e) dopo l'art. 9, e' inserito il seguente articolo:
«Art. 9-bis - 1. Ai fini del seguente decreto, i motori ad accensione comandata vengono suddivisi nelle seguenti classi: a. classe principale S: piccoli motori con potenza netta < o = 19 kW;
b. la classe principale S si suddivide a sua volta in due categorie:
1) H: motori per macchine portatili;
2) N: motori per macchine non portatili.

classe/categoria	cilindrata (cm3)
Motori portatili Classe SH:1	< 20
Classe SH:2	> o = 20 < 50
Classe SH:3	> o = 50
Motori non portatili Classe SN:1	< 66
Classe SN:2	> o = 66 < 100
Classe SN:3	> o = 100 < 225
Classe SN:4	> o = 225

2. A decorrere dall'11 agosto 2004, non puo' essere negata l'omologazione per un tipo di motore o una famiglia di motori ad accensione comandata, o il rilascio del documento di cui all'allegato VII del presente decreto ne possono essere imposti, per l'omologazione, ulteriori requisiti in materia di emissioni che inquinano l'atmosfera, per le macchine mobili non stradali su cui sia montato un motore, se il motore soddisfa i requisiti stabiliti dal presente decreto in materia di emissioni di inquinanti gassosi.
3. Fase I di omologazione. Sara' negato il rilascio dell'omologazione per un tipo di motore o una famiglia di motori ed il rilascio dei documenti di cui all'allegato VII del presente decreto e ogni altra omologazione per le macchine mobili non stradali su cui sia montato un motore dopo l'11 agosto 2004, se il motore non soddisfa i requisiti stabili nel presente decreto e se le emissioni di inquinanti gassosi prodotte dal motore in questione non sono conformi ai valori limite definiti nella tabella di cui al punto
4.2.2.1 dell'allegato I del presente decreto.
4. Fase II di omologazione. Sara' negato il rilascio dell'omologazione per un tipo di motore o una famiglia di motori ed il rilascio dei documenti di cui all'allegato VII del presente decreto e di ogni altra omologazione per le macchine mobili non stradali su cui sia montato un motore:
successivamente al 1° agosto 2004 per le classi di motori SN:1 ed SN:2; successivamente al 1° agosto 2006 per la classe di motori SN:4; successivamente al 1° agosto 2007 per le classi di motori SH:1, SH:2 ed SN:3; successivamente al 1° agosto 2008 per la classe di motori SH:3, se il motore non soddisfa i

requisiti stabiliti dal presente decreto e se le emissioni di inquinanti gassosi prodotte dal motore in questione non sono conformi ai valori limite definiti nella tabella di cui al punto 4.2.2.2 dell'allegato I del presente decreto.
5. Dopo sei mesi a decorrere dalle date applicabili alle rispettive categorie di motori di cui ai commi 3. e 4. del presente decreto, ad eccezione delle macchine e dei motori destinati all'esportazione in Paesi terzi, sara' consentita l'immissione sul mercato di motori, gia' montati o meno su macchine, soltanto se essi soddisfano i requisiti del presente decreto.
6. Per i tipi di motori o le famiglie di motori che soddisfano i valori limite indicati nella tabella di cui al punto 4.2.2.2 dell'allegato I del presente decreto prima delle date stabilite nel comma 4., e' consentita un'etichettatura ed una marcatura speciali per indicare che l'attrezzatura in questione soddisfa i valori limite prima delle date stabilite.
7. Le seguenti macchine sono esentate dal rispetto delle date di attuazione per i valori limite di emissione della fase II per un periodo di tre anni dall'entrata in vigore di tali valori limite di emissione. Per questi tre anni continuano ad essere applicabili i valori limite di emissione della fase I:
motosega portatile: un apparecchio portatile destinato al taglio del legno con sega a catena, da tenersi con due mani ed avente una cilindrata superiore ai 45 cm3, in conformita' della norma EN ISO 11681-1;
apparecchio con impugnatura superiore, ossia trapani portatili e motoseghe a catena per gli alberi: un apparecchio portatile con un manico sull'estremita' superiore, destinato a praticare fori o a tagliare legno con una sega a catena, in conformita' della norma ISO 11681-2;
decespugliatore portatile con motore a combustione interna: un apparecchio portatile dotato di una lama rotante in metallo o plastica destinato a tagliare erbe infestanti, cespugli, arbusti e vegetazione simile. Deve essere progettato in conformita' della norma EN ISO 11806 in modo da operare in varie posizioni, come orizzontalmente o dall'alto verso il basso, e deve avere una cilindrata superiore a 40 cm3;
tagliasiepi portatile: un apparecchio portatile destinato al taglio di siepi e cespugli mediante una o piu' lame dotate di moto alternativo, in conformita' della norma EN 774;
tagliatrice portatile con motore a combustione interna: un apparecchio portatile destinato a tagliare materiali duri come pietre, asfalto, cemento o acciaio, mediante una lama rotante in metallo con una cilindrata superiore a 50 cm3, in conformita' della norma EN 1454, e
motori non portatili della classe SN:3, ad asse orizzontale: unicamente quei motori della classe SN:3 non portatili con asse orizzontale che producono un'energia pari o inferiore a 2,5 kW, utilizzati essenzialmente per determinati fini industriali, comprendenti motozappe, tagliatrici a cilindri, aeratori per prati e generatori.
8. Per ciascuna categoria, sono posposte di due anni le date di cui ai commi 3, 4 e 5 per i motori prodotti entro la data che precede le date indicate nei commi medesimi.»;
f) all'art. 10:
1) il comma 1. e' sostituito dal seguente:
«1. I requisiti di cui all'art. 8. commi 1 e 2, all'art. 9, comma 4, ed all'art. 9-bis, comma 5, non si applicano: ai motori ad uso delle forze armate, ed ai motori esentati in base ai commi 1-bis e 2.;
2) dopo il comma 1. e' inserito il seguente comma:
«1-bis. Il motore di sostituzione deve rispettare i valori limite che il motore da sostituire doveva soddisfare originariamente al momento dell'immissione sul mercato. La dicitura "MOTORE DI SOSTITUZIONE" e' riportata su un'etichetta applicata al motore, o e' inserita nel manuale del proprietario.»;
3) dopo il comma 2. sono aggiunti i seguenti commi:
«3. Le date di cui all'art. 9-bis., commi 4 e 5, sono posticipate di tre anni per i costruttori di motori in piccole serie.
Le disposizioni di cui all'art. 9-bis., commi 4 e 5, sono sostituite dalle disposizioni corrispondenti della fase I per le famiglie di motori in piccole serie sino ad un massimo di 25000 unita', a condizione che le varie famiglie di motori in questione abbiano tutte una cilindrata diversa.»;
g) prima degli allegati e' aggiunto il seguente elenco degli allegati:
«Elenco degli allegati:
Allegato I: ambito di applicazione, definizioni, simboli, abbreviazioni, marcatura del motore, specifiche e prove, conformita' della produzione, parametri per la definizione della famiglia di motori, scelta del motore capostipite;
Allegato II: scheda informativa:
Appendice 1: caratteristiche fondamentali del motore (capostipite);

Appendice 2: caratteristiche fondamentali della famiglia di motori;
Appendice 3: caratteristiche fondamentali dei tipi di motori appartenenti ad una famiglia;
Allegato III: procedimento di prova per motori ad accensione per compressione:
Appendice 1: procedure di misurazione e campionamento;
Appendice 2: taratura degli strumenti di analisi;
Appendice 3: valutazione dei dati e calcoli;
Allegato IV: procedimento di prova - motore ad accensione comandata:
Appendice 1: procedure di misurazione e campionamento;
Appendice 2: taratura degli strumenti di analisi;
Appendice 3: valutazione dei dati e calcoli;
Appendice 4: fattori di deterioramento;
Allegato V: caratteristiche tecniche del carburante di riferimento prescritto per le prove di omologazione e per la verifica della conformita' della produzione. Carburante di riferimento per macchine mobili non stradali - motori ad accensione per compressione;
Allegato VI: sistema analitico e di campionamento;
Allegato VII: scheda di omologazione:
Appendice 1: risultati delle prove per i motori ad accensione per compressione;
Appendice 2: risultati delle prove per i motori ad accensione comandata;
Appendice 3: apparecchiature e dispositivi ausiliari da installare per la prova per determinare la potenza del motore;
Allegato VIII: sistema di numerazione della scheda di omologazione;
Allegato IX: elenco delle omologazioni rilasciate per un tipo di motore/famiglia di motori;
Allegato X: elenco dei motori prodotti;
Allegato XI: scheda relativa ai motori omologati;
Allegato XII: riconoscimento di omologazioni alternative»;
h) gli allegati sono modificati ed integrati conformemente all'allegato al presente decreto, che ne costituisce parte integrante.

Il presente decreto sara' pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Roma, 15 settembre 2004
Il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti Lunari
Il Ministro delle politiche agricole e forestali Alemanno
Il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio Matteoli
Registrato alla Corte dei conti il 18 febbraio 2005 Ufficio controllo atti Ministeri delle infrastrutture ed assetto del territorio, registro n. 1, foglio n. 273

Allegato

Gli allegati al decreto del Ministro dei trasporti e della navigazione 20 dicembre 1999, come modificato da ultimo dal decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti 20 giugno 2002, sono modificati ed integrati conformemente al presente allegato.

1. L'allegato 1 è modificato come segue:
a) la prima frase del punto 1 "CAMPO DI APPLICAZIONE" è sostituita dal testo seguente: "La presente direttiva si applica ai motori destinati ad essere montati sulle macchine mobili non stradali e ai motori secondari installati su veicoli destinati al trasporto di passeggeri o merci su strada.";

b) il punto 1, lettere A, B,C, D, e è modificato come segue:
"A. destinate e idonee a far muovere, o a essere mosse, su terreno con o senza strada, con alternativamente:
i) un motore ad accensione per compressione avente una potenza netta conformemente al punto 2.4 compresa tra 18 kW e 560 kW [(4)] e funzionante a velocità intermittente più che ad una sola velocità costante.
Sono compresi in questa definizione (testo invariato fino a autogru), oppure
ii) un motore ad accensione per compressione avente una potenza netta conformemente al punto 2.4 compresa tra 18 kW e560 kW e funzionante a velocità costante. I valori limite si applicano unicamente a decorrere dal 31 dicembre 200.
Sono compresi in questa definizione i motori delle seguenti macchine (elenco non limitativo):

- compressori a gas,
- gruppi elettrogeni a carico intermittente, compresi refrigeratori e saldatrici,
- pompe ad acqua,
- apparecchi per il giardinaggio, decespugliatori, spazzaneve, spazzatrici,
oppure
iii) un motore ad accensione comandata a benzina avente una potenza netta conformemente al punto 2.4 non superiore a 19 kW.
Sono compresi in questa definizione i motori delle seguenti macchine (elenco non limitativo):
- falciatrici,
- motoseghe
- generatori,
- pompe ad acqua,
- decespugliatori.
La presente direttiva non si applica ai seguenti veicoli:
B. Navi;
C. Locomotive ferroviarie;
D. Aeromobili;
E. Veicoli da diporto, ad esempio:
- motoslitte,
- motociclette da fuoristrada,
- veicoli fuoristrada;";

c) il punto 2 è modificato come segue:
- alla nota 2 del punto 2.4 viene aggiunto il testo seguente:
"... slavo qualora la ventola di motori raffreddati ad aria sia montata direttamente sull'albero a gomiti (cfr. allegato VII, appendice 3).";
- al punto 2.8 è aggiunto il seguente trattino:
"- per motori da sottoporre a prova nel ciclo G1, il regime intermedio è l'85% del regime nominale massimo (cfr. il punto 3.5.1.2 dell'allegato IV).";
- sono aggiunti i seguenti punti:
"2.9. *parametro regolabile*, qualsiasi dispositivo, sistema o elemento del progetto regolabile fisicamente che possa influire sulle emissioni o sulle prestazioni del motore durante la prova delle emissioni o nel corso del funzionamento normale;
2.10 *post-tratatmento*, il passaggio dei gas di scarico attraverso un dispositivo o un sistema deputato ad alterare i gas, dal punto di vista chimico o fisico, prima del rilascio in atmosfera;
2.11 *motore ad accensione comandata*, motore che funziona in base al principio dell'accensione a scintilla;
2.12 *dispositivo ausiliario di controllo delle emissioni*, qualsiasi dispositivo che rileva i parametri di esercizio dal motore allo scopo di regolare il funzionamento di una parte qualsiasi del sistema di controllo delle emissioni;
2.13 *sistema di controllo delle emissioni*, qualsiasi dispositivo, sistema o elemento del progetto che controlla o riduce le emissioni;
2.14 *sistema del carburante*, tutti i componenti adibiti alla misurazione e alla miscelazione del carburante;
2.15 *motore secondario*, un motore installato in o su un veicolo che tuttavia non fornisce la forza motrice al veicolo;
2.16 *durata della modalità di prova*, il lasso di tempo compreso tra lo stacco dal regime e/o dalla coppia della modalità precedente e della fase di precondizionamento e l'inizio della modalità successiva. Comprende i tempi per il cambiamento del regime e/o della coppia e la stabilizzazione all'inizio di ciascuna modalità."
- Il punto 2.9 diventa punto 2.17 e gli attuali punti da 2.9.1 a 2.9.3 sono rinumerati da 2.17.1 a 2.17.3;

d) il punto 3 è modificato come segue:
- il punto 3.1 è sostituito dal testo seguente:
"3.1. Il motore ad accensione per compressione omologato a norma della presente direttiva deve recare:,"
- il punto 3.1.3 è modificato come segue:
"allegato VII" viene sostituito da "allegato VIII",
- è inserito il punto seguente:

"3.2. Il motore ad accensione comandata omologato a norma della presente direttiva deve recare:
3.2.1. il marchio di fabbrica o la ragione sociale del costruttore del motore;
3.2.2. il numero di omologazione CE descritto nell'allegato VIII",
- gli attuali punti da 3.2 a 3.6 sono rinumerati da 3.3 a 3.7,
- il punto 3.7 è modificato come segue: "allegato VI" è sostituito da "allegato VII";

e) il punto 4 è modificato come segue:
- è inserita la seguente voce: "4.1. Motori ad accensione per compressione",
- l'attuale punto 4.1 diventa 4.1.1 e il riferimento ai punti 4.2.1 e 4.2.3 è sostituito da un riferimento ai punti 4.1.2.1 e 4.1.2.3,
- l'attuale punto 4.2 diventa 4.1.2 ed è modificato come segue: "allegato V" è sostituito da "allegato VI",
- l'attuale punto 4.2.1 diventa 4.1.21.; l'attuale punto 4.2.2 diventa 4.1.2.2 e il riferimento al punto 4.2.1 è sostituio dal riferimento al punto 4.1.2.1; gli attuali punti 4.2.3 e 4.2.4 diventano 4.1.2.3 e 4.1.2.4;

f) è aggiunto il punto seguente:

"4.2 **Motori ad accensione comandata**

4.2.1 *Informazioni generali*
Gli elementi che possono influire sull'emissione d'inquinanti gassosi devono essere progettati, costruiti e monatti in modo che, in condizioni normali di utilizzazione e malgrado e vibrazioni cui può essere sottoposto, il motore possa soddisfare alle disposizioni della presente direttiva.

I provvedimenti tecnici presi dal costruttore devono garantire che le emissioni suddette siano effettivamente limitate conformemente alla presente direttiva, per la normale durata di vita del motore e nelle normali condizioni d'uso ai sensi dell'allegato IV, appendice 4.

4.2.2 *Specifiche relative alle emissioni di inquinanti*
I componenti gassosi emessi dal motore sottoposto ala prova devono essere misurati con i metodi descritti nell'allegato VI (si considera incluso qualsiasi eventuale dispositivo di post-trattamento).

Sono accettati altri sistemi o analizzatori, purchè essi forniscano risultati equivalenti ai seguenti sistemi di riferimento:

- per le emissioni gassose misurate sullo scarico tal quale, il sistema illustrato nella figura 2 dell'allegato VI,
- per le emissioni gassose misurate sullo scarico diluito di un sistema di diluizione a flusso pieno, il sistema illustrato nella figura 3 dell'allegato VI.

4.2.2.1. Le emissioni di monossido di carbonio, idrocarburi, ossido d'azoto e la somma totale di idrocarburi e ossidi di azoto non devono superare, per la fase I, i valori indicati nella tabella seguente:

Fase I

Classe	Monossido di carbonio (CO) (g/kWh)	Idrocarburi (HC) (g/kWh)	Ossidi di aozto (NO_x) (g/kWh)	Somma di idrocarburi e ossidi di azoto (g/kWh)
				$HC + NO_x$
SH:1	805	295	5,36	
SH:2	805	241	5,36	
SH:3	603	161	5,36	
SN:1	519			50
SN:2	519			40
SN:3	519			16,1
SN:4	519			13,4

4.2.2.2. Le emissioni di monossido di carbonio e la somma totale di idrocarburi e ossidi di azoto non devono superare, per la fase II, i valori indicati nella tabela seguente:

Fase II

Classe	Monossido di carbonio (CO) (g/kWh)	Somma di idrocarburi e ossidi di azoto (g/kWh)
		$HC + NO_x$
SH:1	805	50
SH:2	805	50
SH:3	603	72
SN:1	610	50,0
SN:2	610	40,0
SN:3	610	16,1
SN:4	610	12,1

Le emissioni di NOx per tutte le classi di motori non devono superare il 10 g/kWh

4.2.2.3 In deroga alla definizione di "motore portatile" di cui all'articolo 2 della presente direttiva, i motori a due tempi utilizzati per gli spazzaneve devono rispettare soltanto gli standard fissati per le classi SH:1, SH:2 o SH:3.

____

(*) Cfr. allegato 4, appendice 4: inclusi i fattori di deterioramento.";

g) i punti da 6.3 a 6.9 sono sostituiti dai punti seguenti:

"6.3. Cilindrata unitaria: entro una fascia di variazione dall'85% al 100% della cilindrata massima della famiglia di motori in questione.

6.4. Metodo di aspirazione dell'aria

6.5. Tipo di carburante:
- diesel
- benzina

6.6. Tipo/disegno della camera di combustione

6.7 Valvole e luci: configurazioni, dimensioni e numero

6.8. Sistema di alimentazione carburante:
per il diesel
- iniettore a pompa
- pompa in linea
- pompa a distributore
- elemento singolo
- iniettore unitario
per la benzina
- carburatore
- iniezione diretta carburante
- iniezione diretta

6.9. Caratteristiche varie:
- ricircolo dei gas di scarico
- iniezione d'acqua/emulsione
- iniezione d'aria
- sistema di raffreddamento della sovralimentazione
- tipo di accensione (a compressione, a scintilla)

6.10. Post-trattamento dello scarico:
- catalizzatore di ossidazione
- catalizzatore di riduzione
- catalizzatore a tre vie
- reattore termico
- trappola del particolato";

2. l'allegato II è modificato come segue:

a) all'appendice 2, il testo della tabella è così modificato:
il testo "Erogazione carburante per corsa (mm^3)" alla terza e alla sesta voce è sostituito da: "Erogazione carburante per corsa (mm3) per i motori diesel, flusso del carburante (g/h) per i motori a benzina";

b) l'appendice 3 è modificata come segue:
- Il titolo del punto 3 è sostituito dal testo seguente: "ALIMENTAZIONE DEL CARBURANTE PER I MOTORI DIESEL",
- vengono aggiunti i seguenti punti:

"4. ALIMENTAZIONE DEL CARBURANTE PER I MOTORI A BENZINA
4.1. Carburatore:
4.1.1. Marca o marche:
4.1.2. Tipo o tipi:
4.2. Iniezione indiretta carburante:
4.2.1 Marca o marche
4.2.2 Tipo o tipi:
4.3. Iniezione diretta
4.3.1. Marca o marche:
4.3.2 Tipo o tipi:
4.4. Flusso del carburante [g/h] e rapporto aria/carburante al regime nominale e con la valvola a farfalla completamente aperta";
- l'attuale punto 4 diventa punto 5 e sono aggiunti i seguenti punti:
"5.3. Sistema variabile di registrazione della valvola (se applicabile e dove: aspirazione e/o scarico)
5.3.1. Tipo: continuo o discontinuo
5.3.2. Angolo di sfasamento di camma",

- Sono aggiunti i punti seguenti:

"6. CONFIGURAZIONI LUCI
6.1. Posizione, dimensione e numero"

"7. SISTEMA DI INIEZIONE
7.1. Bobina di accensione
7.1.1. Marca o marche:
7.1.2 Tipo o tipi:
7.1.3. Numero
7.2. Candela o candele
7.2.1. Marca o marche:
7.2.2. Tipo o tipi:
7.3. Magnete
7.3.1. Marca o marche:
7.3.2. Tipo o tipi:
7.4. Messa in fase dell'accensione
7.4.1. Anticipo statico rispetto al punto morto superiore [gradi di rotazione dell'albero a gomito]:..
7.4.2. Curva di anticipo, se applicabile;

3. l'allegato III è modificato come segue:

a) il titolo è sostituito dal seguente:
"PROCEDIMENTO DI PROVA PER MOTORI AD ACCENSIONE PER COMPRESSIONE"
b) il punto 2.7 è modificato come segue:
"allegato VI" è sostituito da: "allegato VII" e "allegato IV" è sostituto da "allegato V";
c) il punto 3.6 è modificato come segue:
- i punti 3.6.1 e 3.6.1.1 sono così modificati:
"3.6.1. Specifiche delle macchine conformemente all'allegato I, parte 1 A:
3.6.1.1. Specifica A: I motori di cui all'allegato I, parte 1A, punto i) sottoposti alla prova, vengono fatti funzionare al dinamometro conformemente al seguente ciclo di 8 modalità (*) (tabella invariata).

____
(*) Identico al ciclo C1 del progetto di norma ISO 8178-4",

- è aggiunto il punto seguente:
3.6.1.2. Specifica B. I motori di cui alla parte 1 A, punto ii), sottoposti alla prova, vengono fatti funzionare al dinamometro conformemente al seguente ciclo di 5 modalità ([1]):

Modalità numero	Regime del motore	Carico percentuale	Fattore di ponderazione
1	Nominale	100	0,05
2	Nominale	75	0,25
3	Nominale	50	0,3
4	Nominale	25	0,3
5	Nominale	10	0,1

Le cifre relative al carico sono espresse in percentuale della coppia, corrispondente alla potenza del servizio di base, definita come la potenza massima disponibile durante una sequenza di potenza variabile, la cui durata può corrispondere a un numero illimitato di ore annue, tra gli intervalli di manutenzione dichiarati e alle condizioni ambiente dichiarate;: la manutenzione p effettuata secondo le disposizioni del costruttore ([2])

____
([1]) Identico al ciclo D2 della norma ISO 8168-4: 1996 (E).
([2]) Per una migliore spiegazione della definizione di potenza di servizio di base cfr. la figura 2 della norma ISO 8528-1: 1993 (E).",

- il punto 3.6.3 è modificato come segue:
"3.6.3. Sequenza di prova
Avviare la sequenza di prova. La prova viene eseguita in ordine crescente di numero delle modalità sopraindicate per i cicli di prova.

Durante ciascuna modalità del rispettivo ciclo di prova ... (il resto è invariato),"

d) il punto 1 dell'apendice 1 è modificato come segue:
ai punti 1 e 1.4.3, "allegato V" è sostituito da "allegato VI";

4. è aggiunto il seguente allegato:

ALLEGATO IV

PROCEDIMENTO DI PROVA PER I MOTORI AD ACCENSIONE COMANDATA

1. INTRODUZIONE

1.1. Il presente allegato descrive il metodo per la determinazione delle emissioni di inquinanti gassosi prodotte dai motori sottoposti a prova.

1.2 La prova viene eseguita con il motore monatto su banco di prova e collegato ad un dinamometro.

2. CONDIZIONI DI PROVA

2.1. Condizioni di prova del motore
Misurare la temperatura assoluta T_a dell'aria di alimentazione del motore espressa in Kelvin, e la pressione atmosferica riferita al secco p_s espressa in kPa; determinare il parametro f_a come segue:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{1,2} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,6}$$

2.1.1 *Validità della prova*

Perchè una prova sia riconosciuta valida, il parametro f_a deve soddisfare la relazione:

$$0.93 \leq f_a \leq 1,07$$

2.1.2. *Motori con raffreddamento dell'aria di sovralimentazione*
Registrare la temperatura del fluido di raffreddamento e la temperatura dell'aria di alimentazione.

2.2. **Sistema di aspirazione aria del motore**
Il motore di prova deve essere munito di un sistema di aspirazione dell'aria che presenti una restrizione dell'aspirazione entro il 10% del limite superiore specifico dal costruttore per un nuovo depuratore dell'aria alle condizioni di funzionamento del motore, specificate dal costruttore, che determinano il massimo flusso d'aria per la rispettiva applicazione del motore.

Per i piccoli motori ad accensione comandata (con cilindrata < 1 000 cm^3) deve essere utilizzato un sistema rappresentativo del motore installato.

2.3 **Sistema di scarico del motore**
Il motore sottoposto alla prova deve essere munito di un sistema di scarico che presenti una contropressione allo scarico entro il 10% del limite superiore specificato dal costruttore per le condizioni di funzionamento del motore che producono la potenza massima dichiarata nella rispettiva applicazione del motore.

2.4 **Sistema di raffreddamento**
Utilizzare un sistema di raffreddamento del motore avente una capacità sufficiente per mantenere il motore alle temperature di funzionamento normali prescritte dal costruttore.. Questa disposizione si applica alle unità di funzionamento normali prescritte dal costruttore. Questa disposizione si applica alle unità che devono essere separate per misurare la potenza, quali un soffiatore dove il ventilatore (di raffreddamento) del soffiante deve essere smontato per avere accesso all'albero a gomiti.

2.5 **Olio lubrificante**
Utilizzare un olio lubrificante che soddisfi le specifiche indicate dal costruttore per un motore particolare e per un uso specifico. I costruttori devono utilizzare lubrificanti rappresentativi dei lubrificanti per motori disponibili in commercio.
Le specifiche dell'olio lubrificante utilizzato per la prova devono essere registrate al punto 1.2 dell'allegato VII, appendice 2 per i motori ad accensione comandata ed essere presentate con i risultati della prova.

2.6 **Carburatori regolabili**
Per i motori muniti di carburatori a regolazione limitata, la prova deve essere eseguita ad entrambe le estremità regolabili.

2.7 **Carburante di prova**
Il carburante è quello di riferimento definito nell'allegato V.
Il numero di ottani e la densità del carburante di riferimento utilizzato per la prova devono essere registrati al punto 1.1. dell'allegato VII, appendice 2, per i motori ad accensione comandata.

Per i motori a due tempi il rapporto della miscela carburante/olio deve essere quello raccomandato dal costruttore. La percentuale di olio contenuta nella miscela di carburante/lubrificante che alimenta i motori a due tempi e la densità del carburante che ne deriva devono essere registrate al punto 1.1.4 dell'allegato VII, appendice 2, per i motori ad accensione comandata.

2.8 **Determinazione delle regolazioni al dinamometro**
La base considerata per la misurazione delle emissioni è la forza frenante non corretta. Per lo svolgimento della prova è necessario eliminare eventuali dispositivi ausiliari che risultano necessari solo per il funzionamento della macchina e che possono essere montati sul motore. Se tali dispositivi ausiliari non vengono smontati, è necessario calcolare la potenza che assorbono per poter determinare le regolazioni del dinamometro; sono esclusi i motori nei quali i dispositivi ausiliari costituiscono parte integrante del motore (ad esempio i ventilatori di raffreddamento dei motori raffreddati ad aria).
Le regolazioni della restrizione sull'immissione e della contropressione sul condotto di scarico devono corrispondere, per i motori nei quali è possibile procedere a tale regolazione, ai limiti superiori specificati dal costruttore, conformemente ai punti 2.2 e 2.3.
I valori della coppia massima ai regimi di prova specificai vengono determinati sperimentalmente alo scopo di calcolare i valori della coppia per le modalità di prova specificate. Per motori che non sono progettati per funzionare su più regimi lungo la curva si coppia a pieno carico, la coppia massima ai regimi di prova deve essere dichiarata dal costruttore. la regolazione del motore per ciascuna modalità di prova viene calcolata mediante la formula:

$$S = \left((P_M + P_{AE}) \times \frac{L}{100} \right) - P_{AE}$$

dove:

S è la regolazione edl dinamometro [kW]

P_M è la potenza massima osservata o dichiarata al regime di prova nelle condizioni di prova (cfr. allegato VII, appendice 2) [kW]

P_{AE} è la potenza totale dichiarata assorbita dagli eventuali dispositivi ausiliari installati per la prova [kW] e non prescritti ai sensi dell'allegato VII, appendice 3

L è la coppia in percentuale specificata per la modalità di prova.

Se il rapporto

$$\frac{P_{AE}}{P_M} \geq 0{,}03$$

il valore di P_{AE} può essere verificato dall'autorità tecnica che concede l'omologazione.

3. ESECUZIONE DELLA PROVA

3.1. **Installazione dell'apparecchiatura di misurazione**
La strumentazione e le sonde di campionamento devono essere installate come prescritto. Quando si utilizza un sistema di diluizione a flusso pieno per l adiluizione dei gas di scarico, il condotto di scarico deve essere collegato al sistema.

3.2. **Avviamento del sistema di diluizione e del motore**
Il sistema di diluizione e il motore vengono avviati e riscaldati fino alla stabilizzazione della temperatura e della pressione a pieno carico e al regime nominale (punto 3.5.2).

3.3 **Regolazione del rapporto di diluizione**
Il rapporto totale di diluizione non deve essere inferiore a quattro.
Per sistemi controllati dalla concentrazione di CO_2 o NO_x il contenuto di CO_2 o NO_x dell'aria di diluizione deve essere misurato all'inizio e al termine di ciascuna prova. Le

misure della concentrazione di fondo di CO_2 o NO_x prima e dopo la prova sull'aria di diluizione, non devono variare tra di loro di oltre 100 ppm o 5 ppm rispettivamente.
Quando si utilizza un sistema di analisi dei gas di scarico diluiti, le concentrazioni di fondo pertinenti vengono determinate campionando l'aria di diluizione in un sacco di campionamento durante l'intera sequenza di prova.
Una concentrazione di fondo continua (determinata senza l'uso del sacco) può essere rilevata in almeno tre punti, all'inizio, al termine e in un punto prossimo alla metà del ciclo, determinando poi la media dei valori. A richiesta del costruttore, si può omettere la misurazione dei valori di fondo.

3.4. **Controllo degli analizzatori**
Gli analizzatori delle emissioni devono essere azzerati e calibrati.

3.5. **Ciclo di prova**
3.5.1. *Specifica delle macchine conformemente all'allegato I, punti 1, iii).*
Il motore sottoposto alla prova viene fatto funzionare al dinamometro conformemente ai seguenti cicli di prova, in base al tipo di macchina:

ciclo D ([1]): motori a velocità costante e a carico intermittente come i gruppi elettrogeni;
ciclo G1: applicazioni per macchine non portatili a regime intermedio;
ciclo G2: applicazioni per macchine non portatili a regime nominale;
ciclo G3: applicazioni per macchine portatili.

____
([1]) Identico al ciclo D2 della norma ISo 8168-4: 1996 (E).

3.5.1.1 Modalità di prova e fattori di ponderazione

ciclo D

Numero modalità	1	2	3	4	5						
Regime del motore	Regime nominale					Intermedio					Minimo
Carico ([1]) %	100	75	50	25	10						
Fattore di pondera-zione	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1						

ciclo G1

Numero modalità						1	2	3	4	5	
Regime del motore	Regime nominale					Intermedio					Minimo
Carico %						100	75	50	25	10	1
Fattore di pondera-zione						0,09	0,2	0,29	0,3	0,07	0,05

ciclo G2

Numero modalità	1										
Regime del motore	Regime nominale					Intermedio					Minimo
Carico %	100										0
Fattore di pondera-zione	0,85(*)										0,15(*)

---

(1) Le cifre relative al carico sono espresse in percentuale della coppia corrispondente alla potenza di servizio di base, definita come la potenza massima disponibile durante una sequenza di potenza variabile, la cui durata può corrispondere a un numero illimitato di ore annue, tra gli intervalli di manutenzione dichiarati e alle condizioni ambiente dichiarate; la manutenzione p effettuate secondo le disposizioni del costruttore. Per una migliore spiegazione della definizione di potenza di servizio di base cfr. la figura 2 della norma ISO 8528-1: 1993 (E).
(*) Per la fase I è consentito utilizzare un valore pari a 0,90 e a 0,10 invece di, rispettivamente 0,95 e 0,15.

3.5.1.2. Scelta del ciclo di prova più adatto
Se l'utilizzo finale principale di un modello di motore è noto, il ciclo di prova può essere scelto sulla base degli esempi indicati al punto 3.5.1.3. Se invece l'utilizzo finale principale di un motore è incerto, il ciclo di prova deve essere scelto in base alle specifiche del motore.

3.5.1.3. Esempi (l'elenco non è limitativo)
Esempi tipici per:

Ciclo D:

gruppi elettrogeni con carico intermittente, compresi i gruppi installati a bordo di navi e di treni (ma non adibiti alla propulsione), refrigeratori, saldatrici;
compressori a gas.

Ciclo G1:

falciatrici a trazione anteriore o posteriore;
golf cart;
spazzatrici;
tosaerba rotativi o a cilindro condotti a mano;
spazzaneve;
tritarifiuti.

Ciclo G2:

generatori, pompe, saldatrici e compressori ad aria portatili;
sotto questa voce possono rientrare anche le falciatrici e le attrezzature da giardino che funzioanno al regime nominale del motore.

Ciclo G3

soffianti;

motoseghe;
tagliasiepe;
seghe meccaniche portatili per legno;
motozappe rotative;
spruzzatori;
decespugliatori;
decespugliatori a filo;
apparecchiature a depressione.

3.5.2. *Condizionamento del motore*
Il riscaldamento del motore e del sistema deve essere effettuato al regime massimo e alla copia massima allo scopo di stabilire i parametri del motore secondo le raccomandazioni del costruttore.
Nota: il periodo di condizionamento serve anche ad eliminare l'influenza dei depositi lasciati nel sistema di scarico da una precedente prova. E' richiesto anche un certo periodo di stabilizzazione tra i vari punti di prova, allo scopo di minimizzare le influenze di un punto sull'altro.

3.5.3. *Sequenza di prova*
I cicli di prova G1, G2 o G3 vengono eseguiti in ordine crescente di numero delle modalità del ciclo interessato. Il tempo minimo di campionamento è pari a 180 s. I valori della concentrazione delle emissioni allo scarico vengono misurati e registrati durante gli ultimi 120 s del rispettivo tempo di campionamento. per ciascun punto di misurazione la durata della modalità deve essere sufficiente a garantire il raggiungimento della stabilità termica del motore prima dell'inizio del campionamento. La durata della modalità deve essere registrata.

a) Per i motori sottoposti a prova secondo la configurazione di prova del controllo del regime al dinamometro: Durante ciascuna modalità del ciclo di prova, dopo il periodo iniziale di trascrizione, il regime specificato deve essere mantenuto entro il maggiore dei due seguenti limiti "1% del regime nominale o " 3 min^{-1}, salvo per la marcia al minimo per la quale valgono i limiti di tolleranza dichiarati dal costruttore. La coppia specificata deve essere mantenuta in modo che, durante il periodo nel quale vengono effettuate le misure, la media sia compresa tra " 2% della coppia massima al regime di prova.

b) Per i motori sottoposti a prova secondo la configurazione di prova del controllo del carico al dinamometro: Durante ciascuna modalità del ciclo di prova, dopo il periodo iniziale di transizione, il regime specificato deve essere mantenuto entro il maggiore dei due seguenti limiti: " 2% del regime nominale o " 3 min^{-1} , e comunque entro " 5% salvo per la marcia al minimo per la quale valgono i limiti di tolleranza dichiarati dal costruttore.

Durante ciascuna modalità del ciclo di prova che prevede una coppia minima del 50% della coppia massima al regime di prova, durante il periodo in cui vengono raccolti i dati la coppia media specificata deve essere mantenuta entro il limite di " 5% della coppia prescritte. Nelle modalità del ciclo di prova che prevedono una coppia massima inferiore al 50% della coppia al regime di prova, durante il periodo in cui vengono raccolti i dati la coppia specificata deve essere mantenuta entro il maggiore dei due seguenti limiti: " 10% della coppia prescritta o " 0,5 Nm.

3.5.4. *Risposta dell'analizzatore*

I dati forniti dall'analizzatore vengono registrati su un registratore scrivente o misurati con un sistema equivalente mentre il gas di scarico defluisce attraverso gli analizzatori almeno durante gli ultimi 180 s di ciascuna modalità. Se si applica il campionamento a sacco per la misura di CO e CO_2 diluiti (cfr. appendice 1, punto 1.4.4), viene raccolto un campione nel sacco durante gli ultimi 180 s di ciascuna modalità e successivamente analizzato e registrato.

3.5.5 *Condizioni del motore*

In ciascuna modalità, il regime e il carico del motore, la temperatura dell'aria di aspirazione e il flusso del carburante devono essere misurati dopo la stabilizzazione del motore,

Qualsiasi dato ulteriore occorrente per il calcolo deve essere registrato (cfr. appendice 3, punti 1.1. e 1.2).

3.6 **Controllo dell'analizzatore al termine della prova**

Dopo il controllo delle emissioni, l'analizzatore viene ricontrollato con un gas di azzeramento e lo stesso gas di calibrazione. La prova è considerata accettabile se la differenza tra i risultati delle due misurazioni è inferiore al2%

---

1. PROCEDURE DI MISURAZIONE E CAMPIONAMENTO
I componenti gassosi emessi dal motore sottoposto alla prova vengono misurati con i metodi descritti nell'allegato VI. Questi metodi descrivono i sistemi di analisi raccomandati per le emissioni gassose (punto 1.1)

1.1. **Specifiche del dinamometro**

Usare un dinamometro per motori avente caratteristiche adeguate per svolgere i cicli di prova descritti nell'allegato IV, punto 3.5.1. La strumentazione per la misura della coppia e della velocità di rotazione deve permettere di misurare la potenza all'albero entro i limiti dati. Possono essere necessari calcoli aggiuntivi.

La precisione dell'apparecchiatura di misurazione deve essere tale da non eccedere le tolleranze massima indicate nel punto 1.3.

1.2. **Flusso del carburante e flusso totale diluito**

Usare flussimetri per carburante con la precisione definita al punto 1.3 per misurare il flusso di carburante da utilizzare per calcolare le emissioni (appendice 3). Quando si utilizza un sistema di diluizione a flusso pieno, il flusso totale del gas di scarico diluito (G_{TOTW}) deve essere misurato con una PDP o un CFV - allegato VI, punto 1.2.1.2. La precisazione deve essere conforme alle disposizione dell'allegato III, appendice 2, punto 2.2.

1.3. **Precisione**

La taratura di tutti gli strumenti di misura deve essere riconducibile a norme nazionali o internazionali ed essere conforme ai requisiti indicati nelle tabelle 2 e 3.

Tabella 2 - Deviazione ammissibile degli strumenti per i parametri relativi al motore

N	Voce	Deviazione ammissibile
1	Regime del motore	" 2% del valore letto o " 1% del valore massimo del motore, se superiore
2	Coppia	" 2% del valore letto o " 1% del valore massimo del motore, se superiore
3	Consumo di carburante ([a])	" 2% del valore massimo del motore
4	Consumo di aria ([a])	" 2% del valore letto o " 1% del valore massimo del motore, se superiore

(a) I calcoli delle emissioni di scarico descritti nella presente direttiva sono in alcuni casi basati su differenti metodi di misura e/o calcolo. Date le limitate tolleranze totali per il calcolo delle emissioni dovute ai gas di scarico, i valori ammissibili per alcune voi, utilizzati nelle appropriate equazioni, devono essere inferiori alle tolleranze ammesse della norma ISO 3046-3

Tabella 3 - deviazione ammissibile degli strumenti per altri parametri essenziali

N	Voce	Deviazione ammissibile
1	Temperature ≤ 600 K	" 2 K assoluti
2	Temperature ≤ 600 K	" 1% del valore letto
3	Pressioni dei gas di scarico	" 0,2 kPa assoluto
4	Depressioni al collettore di ammissione	" 0,05 kPa assoluto
5	Pressione atmosferica	" 0,1 kPa assoluto
6	Altre pressioni	" 0,1 kPa assoluto
7	Umidità relativa	" 3 % assoluto
8	Umidità assoluta	" 5 % del valore letto
9	Flusso dell'aria di diluizione	" 2% del valore letto
10	Flusso dei gas di scarico diluiti	" 2 % del valore letto

1.4 **Determinazione dei componenti gassosi**

1.4.1. *Specifiche generali degli analizzatori*

Gli analizzatori devono avere un intervallo di misurazione appropriato alla precisione richiesta per misurare le concentrazioni dei componenti dei gas di scarico (punto 1.4.1.1). Si raccomanda di utilizzare gli analizzatori in modo tale che la concentrazione misurata sia compresa tra il 15 % e il 100% del fondo scala.

Se il valore a fondo scala è di 155 ppm (o ppm C) o minore, oppure se si utilizzano sistemi di lettura (elaboratori, registratori dei dati di misurazione) che forniscano una sufficiente precisione e risoluzione al disotto del 15% del fondo scala, sono ammesse anche concentrazioni al di sotto del 15% del fondo scala. In tal caso, si devono eseguire tarature addizionali per assicurare la precisione delle curve di taratura (cfr. appendice 2, punto 1.5.5.2, dl presente allegato).

Il livello di compatibilità elettromagnetica (CEM) dell'apparecchiatura deve permettere di minimizzare errori addizionali.

1.4.1.1 Precisione

L'analizzatore non deve discostarsi del punto di taratura nominale per un valore superiore a " 0,3 % del fondo scala a zero. La precisione viene determinata in base ai requisiti di taratura fissati nel punto 1.3

1.4.1.2. Ripetibilità

La ripetibilità deve essere tale che il valore corrispondente a 2,5 volte la deviazione standard di dieci risposte rispettive ad un dato gas di taratura o calibrazione non deve essere maggiore di " 1% della concentrazione di fondo scala per ciascun intervallo utilizzato al di sopra di 100 ppm (o ppm C) o di " 2% di ciascun intervallo utilizzato al di sotto dei 100 ppm (o ppm C)

1.4.1.3. Rumore

La risposta dell'analizzatore da picco a picco di gas di azzeramento e di calibrazione su qualsiasi periodo di 10 secondi non deve superare il 2% del fondo scala su tutti gli intervalli utilizzati.

1.4.1.4. Deriva dello zero

La risposta di zero è definita come la risposta media, incluso il rumore, ad un gas di azzeramento su un intervallo di tempo di 30 secondi. La deriva della risposta di zero per un periodo di un'ora deve essere inferiore al 2% del fondo scala sull'intervallo più basso utilizzato.

1.4.1.5. Deriva di calibrazione

La risposta di calibrazione è definita come la risposta media, incluso il rumore, ad un gas di azzeramento su un intervallo di tempo di 30 secondi. La deriva della risposta di calibrazione per un periodo di un'ora deve essere inferiore al 2% del fondo scala sull'intervallo più basso utilizzato.

1.4.2. *Essiccazione del gas*

I gas di scarico possono essere misurati su umido o sul secco. Il dispositivo facoltativo di essiccazione del gas deve avere effetti trascurabili sulla concentrazione dei gas misurati. Gli essiccatori chimici non sono ammessi per rimuovere l'acqua dal campione.

1.4.3. *Analizzatori*

I punti da 1.4.3.1 a 1.4.3.5 descrivono i principi di misura da applicare, Una descrizione dettagliata dei sistemi di misurazione figura nell'allegato VI.

I gas da misurare devono essere analizzati con gli strumenti seguenti. Per analizzatori non lineari, è ammesso l'uso di circuiti di linearizzazione.

1.4.3.1. Analisi dell'ossido di carbonio (CO)

L'analizzatore dell'ossido di carbonio deve essere del tipo ad assorbimento non dispersivo nell'infrarosso (NDIR)

1.4.3.2. Analisi del biossido di carbonio (CO_2)

L'analizzatore del biossido di carbonio deve essere del tipo ad assorbimento non dispersivo nell'infrarosso (NDIR)

1.4.3.3. Analisi dell'ossigeno (O_2)

L'analizzatore dell'ossigeno deve essere del tipo a rilevatore paramagnetico (PMD), a sensore al diossido di zirconio (ZRDO) o a sensore elettrochimico (ECS)

Nota: Si sconsiglia l'uso dei sensori al diossido di zirconio in caso di elevate concentrazioni di HC e CO, come nel caso dei motori ad accensione comandata a combustione povera. Nei sensori elettrochimici è necessario prevedere una compensazione per l'interferenza del CO_2 e dei NO_x

1.4.3.4. Analisi degli idrocarburi (HC)

Per il campionamento diretto dei gas l'analizzatore degli idrocarburi deve essere del tipo con rivelatore a ionizzazione di fiamma riscaldato (HFID) in cui il rivelatore, le valvole, le tubature, ecc. sono riscaldati in modo da mantenere il gas ad una temperatura di 463 K " 10 K (190° C "10° C).

Per il campionamento dei gas diluiti l'analizzatore degli idrocarburi deve essere del tipo con rivelatore a ionizzazioni di fiamma riscaldato (HFID) o con rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID).

1.4.3.5. Analisi degli ossidi di azoto (NO_x)

L'analizzatore degli ossidi di azoto deve essere del tipo con rivelatore a chemiluminescenza (CLD) o con rivelatore a chemiluminescenza riscaldato (HCLD) con un convertitore NO_2/NO, se la misura viene effettuata sul secco. Se la misura viene effettuate su umido, si deve usare un HCLD con convertitore mantenuto al di sopra dei 328 K (55° C), a condizione che il controllo dell'estinzione causata dall'acqua rientri nella norma (allegato III, appendice 2, punto 1.9.2.2). Sia per il rivelatore CLD che per l'HCLD il percorso di campionamento deve essere mantenuto ad una temperatura di parte compresa tra 328 K e 473 K (da 55° C a 200° C) fino al convertitore per la misurazione sul secco e fino all'analizzatore per la misurazione su umido.

1.4.4. Campionamento delle emissioni gassose

Se la composizione de gas di scarico dovrebbe trovarsi sul lato ad alta pressione della marmitta, il più lontano possibile dalla luce di scarico. per garantire la completa miscelazione dello scarico del motore prima dell'estrazione del campione, in alternativa è possibile inserire un miscelatore tra l'uscita della marmitta e la sonda di campionamento. Il volume interno del miscelatore non deve essere inferie a 10 volte la cilindrata del motore sottoposto a prova e dovrebbe presentare un'altezza, una larghezza e una profondità praticamente uguali, come in un cubo. Le dimensioni del miscelatore dovrebbero essere ridotte al minimo; il miscelatore deve essere collegato il più possibile vicino al motore. Il condotto di scarico in uscita dal miscelatore della marmitta deve continuare per almeno 610 mm oltre il punto in cui è ubicata la sonda di campionamento e deve avere dimensioni sufficienti per ridurre al minimo la contropressione. La temperatura della superficie interna del miscelatore deve mantenersi al di sopra della temperatura di condensazione dei gas di scarico; è consigliabile una temperatura minima di 338 ° K (65° C).

In via facoltativa tutti i componenti possono essere misurati direttamente nella galleria di diluizione o tramite campionamento in sacco e successiva misura della concentrazione nel sacco di campionamento.

Appendice 2

1. TARATURA DEGLI STRUMENTI DI ANALISI

1.1. **Introduzione**

Ciascun analizzatore deve essere tarato con la frequenza necessaria per soddisfare i requisiti di precisione della presente norma. Il metodo di taratura da utilizzare è descritto in questo punto per gli analizzatori indicati nell'appendice 1, punto 1.4.3.

1.2. **Gas di taratura**

Rispettare la durata di conservazione di tutti i gas di taratura.

Registrare la data di scadenza dei gas di taratura dichiarata dal costruttore.

1.2.1. *Gas puri*

La purezza dei gas richiesta è definita dai limiti di contaminazione sottoindicati. devono essere disponibili i seguenti gas:

- azoto purificato (contaminazione $\leq$ 1 ppm C, $\leq$ 1 ppm CO, $\leq$ 400 ppm CO_2, $\leq$ 0,1 ppm NO)
- ossigeno purificato (purezza > 99,5 Vol. O_2)
- miscela idrogeno-elio (40 " 2% di idrogeno, rimanente elio); contaminazione $\leq$ 1 ppm C, $\leq$ 400 ppm CO_2)
- aria sintetica purificata (contaminazione $\leq$ 1 ppm CO, $\leq$ 400 ppm CO_2, $\leq$ 0,1 ppm NO (tenore di ossigeno 18-21% vol).

1.2.2. *Gas di taratura e di calibrazione*

Devono essere disponibili miscele id gas aventi le seguenti composizioni chimiche:

- C_3H_8 e aria sintetica purificata (cfr. punto 1.2.1)
- CO e azoto purificato
- NO_x e azoto purificato (la quantità di NO_2 contenuta in questo gas di taratura non deve superare il 5% del tenore di NO)
- CO_2 e azoto purificato
- CH_4 e aria sintetica purificata
- C_2H_6 e aria sintetica purificata.

Nota: Sono ammesse combinazioni di altri gas, purchè i gas non reagiscano uno con l'altro.

La concentrazione effettiva dei gas di taratura e di calibrazione deve essere compresa entro il " 2% del valore nominale. Tutte le concentarzioni dei gas di taratura devono essere indicate su base volume (% in volume o ppm in volume).

I gas utilizzati per la taratura e per la calibrazione possono essere ottenuti anche mediante dispositivi di miscelazione di precisione (divisori di gas) effettuando la diluizione con N2 purificato o con aria sintetica purificata. La precisione del dispositivo di miscelazione deve essere tale che la concentrazione dei gas di taratura diluiti possa essere determinata con un errore non superiore a " 1,5 %. una precisione analoga implica che i gas primari utilizzati per la miscelazione devono essere conosciuti con una precisione minima di " 1%, riconducibile a norma nazionali e/o internazionali. La verifica viene effettuata tra il 15% e il 50% del fondo scala per ogni taratura che comporta l'impiego di un dispositivo di miscelazione.

In alternativa, il dispositivo di miscelazione può essere controllato con uno strumento lineare per natura, ad esempio impiegando gas NO con un CLD. Il valore di calibrazione dello strumento è regolato quando il gas di calibrazione è direttamente collegato allo strumento. Il dispositivo di miscelazione è controllato quando si trova alle regolazioni utilizzate e il valore nominale viene raffrontato alla concentrazione misurata dello strumento, in ogni punto misurato la differenza deve rientrare entro un limite di " 0,5 % del valore nominale.

1.2.3. *Controllo dell'interferenza dell'ossigeno*

I gas di controlo dell'interferenza dell'ossigeno devono contenere propano con 350 ppmC " 75 ppm C di idrocarburi. La concentrazione viene determinata, con le tolleranze dei gas di calibrazione, mediante cromotografia degli idrocarburi totali più impurità o mediante miscelazione dinamica. L'azoto è il diluente predominante con l'ossigeno come gas complementare. Miscela richiesta per la prova dei motori a benzina:

Concentrazione interferenza O_2	Altro gas
10 (da 9 a 11)	Azoto
5 (da 4 a 6)	Azoto
0 (da 0 a 1)	Azoto

1.3. **Procedura operativa per gli analizzatori e per il sistema di campionamento**

La procedura operativa per l'impiego degli analizzatori deve seguire le istruzione di avviamento e di utilizzazione del cosrtuttore degli strunmenti. devono essere rispettati i requisiti minimi presentati nei punti da 1,4 a 1,9. per strumenti di laboratorio quali GC e cromatografi liquidi ad alte prestazioni (HPLC) è applicabile solo il punto 1.5.4.

1.4. **Prova di trafilamento**

Eseguire una prova di trafilamento del sistema. La sonda deve essere disinserita dal sistema di scarico e l'estremità chiusa. Si mette in funzione la pompa dell'analizzatore. Dopo un periodo iniziale di stabilizzazione, tutti i flussimetri devono indicare zero; in caso contrario, controllare le linee di campionamento e rimediare ai difetti.

Il trafilamento massimo ammissibile sul alto in depressione è pari a 0,5% della portata di utilizzo per la parte di sistema controllata. Si possono usare i flussi sull'analizzatore e sul bypass per stimare le portate dell'utilizzo.

In alternativa, è possibile evacuare il sistema ad una pressione minima di 20 kPa in depressione (80 kPa assoluti). dopo un periodo di stabilizzazione iniziale l'aumento di pressione *p (kPa/min) del sistema deve essere superiore a:
$*p = p/V_{syst} \times 0,005 \times fr$
dove:
V_{syst} = volume del sistema [l]
fr = portata del sistema [l/min]

Un altro metodo è l'introduzione di un cambiamento di concentrazione a gradino all'inizio della linea di campionamento passando dal gas di azzeramento a quello di calibrazione. Se. dopo un adeguato periodo di tempo, il valore letto indica una concentrazione inferiore a quella introdotta, esistono problemi di taratura o di trafilamento.

1.5. **Procedimento di taratura**

1.5.1. *Strumentazione*

Gli strumenti montati devono essere tarati e le curve di taratura devono essere controllate rispetto a gas campione, impiegando le stesse portate di gas utilizzate per il campionamento dei gas di scarico.

1.5.2. *Tempo di riscaldamento*

Seguire i tempi di riscaldamento raccomandati dal costruttore. Se non è specificato, si raccomanda un tempo di riscaldamento degli analizzatori di almeno due ore.

1.5.3. *Analizzatori NDIR e HFID*

Regolare l'analizzatore NDIR secondo quanto neecessario e ottimizzare la fiamma di combustione dell'analizzatore HFID (punto 1.9.1).

1.5.4. *Gascromatografo (GC) e HPCL*

Calibrare i due strumenti secondo le buone prassi di laboratorio e in base alle raccomandazioni del costruttore.

1.5.5. *Determinazione delle curve di taratura*

1.5.5.1. Orientamento generale

a) Tarare ciascun intervallo operativo normalmente usato.
b) Azzerare gli analizzatori di CO, CO_2, NO_x e HC con aria sintetica (o azoto) purificati.
c) Introdurre negli analizzatori gli appropriati gas di taratura, registrare i valori e determinare le curve di taratura.
d) Per tutti gli interventi degli strumenti, ad eccezione di quello inferiore, la curva di taratura dell'analizzatore viene determinata mediante almeno dieci punti di taratura, oltre allo zero, distribuiti nel modo più uniforme possibile. Per l'intervallo inferiore, la curva si taratura viene determinata mediante almeno dieci punti di taratura, oltre allo zero, distribuiti in modo tale che la metà dei punti si trovi al di sotto del 15% del fondo scala dell'analizzatore e l'altra metà al di sopra del 15% del fondo scala. La concentrazione nominale massima per tutti gli intervalli deve essere uguale o maggiore al 90% del fondo scala.
e) La curva di taratura vene calcolata con il metodo dei minimi quadrati. Si può utilizzare un'equazione di aggiustamento lineare o non lineare.
f) I punti di taratura non devono differire dalla linea di aggiustamento dei minimi quadrati del maggiore dei seguenti valori: oltre " 2% del valore o " 0,3% del fondo scala.
g) Se necessario, ricontrollare la regolazione dello zero e ripetere la procedura di taratura.

1.5.5.2. Metodi alternativi

Se è possibile dimostrare che una tecnica alternativa (per esempio elaboratore, commutatore di intervallo a a comando elettronico, ecc.) può fornire una precisione equivalente, si possono utilizzare tali tecniche.

1.6. **Verifica della taratura**

Ciascun intervallo operativo normalmente utilizzato deve essere controllato prima di ogni analisi secondo la procedura seguente.

La taratura viene controllata utilizzando un gas di azzeramento e un gas di calibrazione il cui valore nominale sia superiore all'80% del fondo scala dell'intervallo di misurazione.

Se, per i due punti considerati, il valore trovato non differisce di oltre il "4% del fondo scala del valore di riferimento dichiarato, si possono modificare i parametri di aggiustamento . In caso contrario, occorre verificare il gas di calibrazione o determinare una nuova curva di taratura secondo il punto 1.5.5.1.

1.7. **Taratura dell'analizzatore del gas tracciante per la misurazione del gas di scarico.**

L'analizzatore per la misurazione delle concentrazioni di gas tracciante viene tarato utilizzando gas normali.

La curva di calibratura viene determinata mediante almeno dieci punti di taratura, oltre allo zero, distribuiti in modo tale che la metà dei punti si trovi tra il 4% e il 20% del fondo scala dell'analizzatore e l'altra metà tra il 20% e il 100% del fondo scala. La curva di taratura vene calcolata con il metodo dei minimi quadrati.

La curva di taratura non deve differire di oltre " 1% del fondo scala da valore nominale di ciascun punto di taratura, nell'intervallo tra il 4% e il 20% del fondo scala. L'analizzatore viene azzerato e calibrato prima della prova utilizzando un gas di azzeramento e un gas di calibrazione il cui valore nominale sia superiore all'80% del fondo scala dell'analizzatore.

1.8. **Prova di efficienza del convertitore di NO_x**

L'efficienza del convertitore utilizzato per la conversione di No_2 in No viene controllata come indicato nei punti 1.8.1-1.8.8 (figura 1 dell'allegato III, appendice 2).

1.8.1. *Configurazione di prova*

Questo controllo di può effettuare con un ozonizzatore conformemente all'impianto di prova presentato alla figura 1 dell'allegato III e al procedimento descritto in appresso.

1.8.2. Taratura

Il CLD e l'HCLD devono essere tarati nell'intervallo di funzionamento più comune, secondo le specifiche del costruttore, utilizzando gas di azzeramento e di taratura (il cui tenore deve essere pari a circa l'80% dell'intervallo operativo e la concentrazione di NO_2 della miscela di gas deve essere inferiore al 5% della concentrazione di NO). L'analizzatore di NO_x deve essere regolato sulla posizione di NO, in modo che il gas di taratura non passi attraverso il convertitore. Registrare la concentrazione indicata

1.8.3. *Calcolo*

L'efficienza del convertitore di NO_x viene calcolata come segue:

$$\text{Efficienza (\%)} = \left(1 + \frac{a-b}{c-d}\right) \times 100$$

dove:
a = concentrazione di NO_x conformemente al punto 1.8.6
b = concentrazione di NO_x conformemente al punto 1.8.7
c = concentrazione di NO_x conformemente al punto 1.8.4
d = concentrazione di NO_x conformemente al punto 1.8.5

1.8.4. *Aggiunta di ossigeno*

Attraverso un raccordo a T, aggiungere di continuo ossigeno o aria di azzeramento al flusso di gas fino a quando la concentrazione indicata risulti inferiore di circa il 20% alla concentrazione di taratura indicata al punto 1.8.2. (Analizzatore in posizione NO).

Registrare la concentrazione indicata (c). Durante tutta questa operazione l'ozonizzatore deve restare disinserito.

1.8.5. *Attivazione dell'ozonizzatore*

Attivare quindi l'ozonizzatore per generare una quantità di ozono sufficiente a ridurre la concentrazione di NO a circa il 20% (minimo 10%) della concentrazione di taratura di cui al punto 1.8.2. Registrare la concentrazione indicata (d). (Analizzatore in posizione NO).

1.8.6. *Posizione NO_x*

Commutare quindi l'analizzatore sulla posizione NO_x in modo che 1 amiscela gassosa (costituita da NO, NO_2, O_2 e N_2) passi attraverso il convertitore. registrare la concentrazione indicata (a). (Analizzatore in posizione NO_x)

1.8.7. *Disattivazione dell'ozonizzatore*

Disattivare quindi l'ozonizzatore. la miscela di gas descritta al punto 1.8.6. entra nel rivelatore passando attraverso il convertitore. Registrare la concentrazione indicata (b). (Analizzatore in posizione NO_x)

1.8.8. *Posizione NO*

Dopo la commutazione sulla posizione NO con l'ozonizzatore disattivato, chiudere anche il flusso di ossigeno o di aria sintetica. Il valore di NO_x letto sull'analizzatore non deve superare di oltre il " 5% il valore specificato al punto 1.8.2. (Analizzatore in posizione NO)

1.8.9. *Intervallo di prova*

Verificare l'efficienza del convertitore ogni mese.

1.8.10. *Efficienza*

L'efficienza del convertitore non deve essere inferiore al 90%, ma è fortemente raccomandata un'efficienza maggiore (95%).

Nota: Se, con l'analizzatore nell'intervallo più comune, l'ozonizzatore non può fornire una riduzione dall''80% al 20% conformemente al punto 1.8.5, utilizzare l'intervallo massimo che consente tale riduzione.

1.9. **Regolazione del FID**

1.9.1. *Ottimizzazione della risposta del rivelatore.*

Il rivelatore HFID deve essere messo a punto come specificato dal costruttore dello strumento. Come gas di taratura, utilizzare propano in aria per ottimizzare la risposta sull'intervallo operativo più comune.

Con le portate di carburante e di aria raccomandate dal costruttore, introdurre nell'analizzatore un gas di calibrazione contenete 350 " 75 ppmC. Determinare la risposta ad un flusso di carburante in base alla differenza tra la risposta al gas di calibrazione e la risposta al gas di azzeramento. Il flusso del carburante deve essere regolato per incrementi al di sopra e al di sotto del valore specificato dal costruttore. registrare le risposte di calibrazione e di azzeramento a questi flussi di carburante. riportare in grafico la differenza tra la risposta di calibrazione e la risposta di azzeramento e regolare il flusso di carburante sul lato ricco della curva. Il valore rappresenta la regolazione iniziale della portata, che può essere successivamente ottimizzata in base ai risultati del fattore di risposta degli idrocarburi e del controllo dell'interferenza dell'ossigeno secondo i punti 1.9.2. e 1.9.3.

Se l'interferenza dell'ossigeno o i fattori di risposta delgi idrocarburi non rispettano le specifiche indicate di seguito , il flusso dell'aria sarà regolato in maniera incrementale verso l'alto e verso il basso rispetto alle specifiche del costruttore; ripetere le procedure dei punti 1.9.2 e 1.9.3 per ciascun flusso

1.9.2. Fattori di risposta degli idrocarburi

tarare l'analizzatore utilizzando propano in aria e aria sintetica purificata conformemente al punto 1.5.

Quando un analizzatore viene messo in servizio e dopo interruzioni di funzionamento piuttosto lunghe, determinare i fattori di risposta. Il fattore di risposta (R_f) per una particolare specie di idrocarburi è il rapporto tra il valore C1 letto sl FID e la concentrazione del gas nella bombola espressa in ppm di C1

La concentrazione del gas di prova deve essere ad un livello tale da ottenere una risposta pari approssimativamente all'80% del fondo scala. La concentrazione deve essere nota con una precisione del " 2% riferita ad uno standard gravimetrico espresso in volume. inoltre, la bombola del gas deve essere precondizionata per 24 ore ad una temperatura di 298 K (25° C) " 5K.

I gas di prova e gli intervalli raccomandati per i relativi fattori di risposta sono i seguenti:

- metano e aria sintetica purificata: $1,00 \leq R_f \leq 1,15$
- propilene e aria sintetica purificata: $0,90 \leq R_f \leq 1,1$

- toluene e aria sintetica purificata: $0,90 \leq R_f \leq 1,10$

Questi valori sono relativi al fattore di risposta (R_f) di 1,00 per propano e aria sintetica purificata.

1.9.3. *Controllo dell'interferenza dell'ossigeno*

Quando si mette in servizio un analizzatore e dopo interruzioni di funzionamento piuttosto lunghe, controllare l'interferenza dell'ossigeno. scegliere un intervallo nel quale i gas di controllo dell'interferenza dell'ossigeno rientrino nel 50% superiore. La prova viene effettuata regolando la temperatura del forno come indicato. I gas di controllo dell'interferenza dell'ossigeno sono indicati al punto 1.2.3.

a) Azzerare l'analizzatore.
b) Calibrare l'analizzatore con la miscela allo 0% di ossigeno per i motori a benzina.
c) Ricontrollare la risposta di azzeramento. Se è cambiata di oltre lo 0,5% del fondo scala, ripetere le procedure di cui alle lettere a) e b) di questo punto.
d) Introdurre i gas di controllo dell'interferenza dell'ossigeno al 5% e al 10%.
e) Ricontrollare la risposta di azzeramento. Se è cambiata di oltre " 1% del fondo scala, ripetere la prova.
f) Calcolare l'interferenza dell'ossigeno ($\%O_2I$) per ciascuna miscela di cui alla lettera d) come segue:

$$O_2I = \frac{(B - C)}{B} \times 100 \qquad ppm\ C = \frac{A}{D}$$

dove:
A= concentrazione di idrocarburi (ppm C) del gas di calibrazione utilizzato alla lettera b)
B= concentrazione di idrocarburi (ppm C) dei gas di controllo dell'interferenza dell'ossigeno utilizzati alla lettera d)
C= risposta dell'analizzatore
D= percentuale della risposta dell'analizzatore rispetto al fondo scala a seguito del punto A.

g) La % dell'interferenza dell'ossigeno (% O_2I) deve essere inferiore a " 3% per tutti i gas di controllo dell'interferenza dell'ossigeno prima della prova.

h) Se l'interferenza dell'ossigeno è superiore a " 3% il flusso dell'aria deve essere regolato per incrementi al disopra e al disotto del valore specificato dal costruttore, ripetendo le procedure del punto 1.9.1 per ciascun flusso.

i) Se l'interferenza dell'ossigeno è superiore a " 3% dopo aver regolato il flusso dell'aria variare il flusso del carburante e successivamente il flusso del campione, ripetendo le procedure del punto 1.9.1 per ciascuna nuova regolazione.

j) Se l'interferenza dell'ossigeno è ancora superiore a " 3%, riparare o sostituire l'analizzatore, il carburante del FID o l'aria del bruciatore prima di eseguire la prova. La procedura descritta in questo punto deve essere ripetuta dopo la riparazione o la sostituzione dell'apparecchiatura o dei gas.

1.10. Effetti di interferenza con gli analizzatori di CO, CO_2, NO_x e O_2

Gas diversi da quello analizzato possono interferire in vari modi col valore letto. Si verifica un'interferenza positiva in strumenti NDIR e PMD quando il gas interferente fornisce, in minor misura, lo stesso effetto del gas misurato. Si verifica una interferenza negativa, negli strumenti NDIR, a causa di gas interferenti che ampliano la banda di assorbimento del gas misurato e, negli strumenti CLD, a causa di gas interferenti che estinguono la radiazione. eseguire i controlli di interferenza descritti nei punti 1.10.1 e 1.10.2 prima dell'utilizzo iniziale dell'analizzatore e dopo intervalli di inutilizzo importanti, e comunque almeno una volta all'anno.

1.10.1 *Controllo dell'interferenza sull'analizzatore di CO*

Acqua e CO_2 possono interferire con le prestazioni dell'analizzatore di CO. Pertanto, gorgogliare attraverso acqua a temperatura ambiente un gas di calibrazione del CO_2 avente

una concentrazione dell'80 al 100% del fondo scala dell'intervallo operativo massimo durante la prova e registrare la risposta dell'analizzatore. Quest'ultima non deve essere superiore all'1% del fondo scala per intervalli uguali o superiori a 300 ppm, e non deve essere superiore a 3 ppm per intervalli al di sotto di 300 ppm.

1.10.2. *Controlli dell'attenuazione sull'analizzatore di NO_x*

I due gas che possono dare problemi sugli analizzatori CLD (e HCLD) sono il CO_2 e il vapore acqueo. Le risposte di estinzione di questi gas sono proporzionali alle loro concentrazioni e richiedono pertanto tecniche d'analisi per determinare l'estinzione alle più elevate concentrazioni prevedibili durante la prova.

1.10.2.1. Prova dell'attenuazione da CO2

Far passare attraverso l'analizzatore NDIR un gas di calibrazione del CO_2 avente una concentrazione dall'80 al 100% del fondo scala dell'intervallo operativo massimo e registrare come A il valore dl CO2. Diluire poi approssimativamente al 50% con gas di calibrazione di NO e farlo passare attraverso gli analizzatori NDIR e (H)CLD registrando come B e C rispettivamente i valori di CO_2 e di NO. Chiudere poi il CO_2 e far passare solo il gas di calibrazione di NO attraverso l'analizzatore (H)CLD e registrare come D il valore di NO.

L'attenuazione, che non deve superare il 3% del fondo scala, viene calcolata come segue:

$$\% \text{ attenuazione } CO_2 = \left[1 - \left(\frac{(C \times A)}{(D \times A) - (D \times B)}\right)\right] \times 100$$

dove:
A: concentrazione CO_2 non diluito misurata con NDIR (%)
B: concentrazione CO_2 diluito misurata con NDIR (%)
C: concentrazione NO diluito misurata con CLD ppm
D: concentrazione NO non diluito misurata con CLD ppm

E' possibile utilizzare metodi alternativi per diluire e quantificare i valori dei gas di calibrazione CO_2 ed NO, ad esempio la miscelazione dinamica.

1.10.2.2. Controllo dell'attenuazione causata dall'acqua

Il controllo si applica solo alle misure della concentrazione dei gas su umido. Il calcolo dell'attenuazione provocata dall'acqua deve considerare la diluizione del gas di calibrazione in proporzione a quella prevista durante l'esecuzione delle prove.

Far passare un gas di calibrazione di NO avente una concentrazione dall'80 al 100% del fondo scala del normale intervallo operativo attraverso l'analizzatore (H)CLD e registrare come D il valore di NO. Gorgogliare poi il gas di NO attraverso acqua a temperatura ambiente e farlo passare attraverso l'analizzatore (H)CLD, registrando come C il valore di NO. La temperatura dell'acqua deve essere determinata e registrata come F. determinare e registrare come G la pressione di vapore di saturazione della miscela che corrisponde alla temperatura dell'acqua nel gorgogliatore (F). Calcolare la concentrazione di vapore acqueo (in %) della miscela come segue:

$$H = 100 \times \left(\frac{G}{p_b}\right)$$

e registrarla come H. Calcolare la concentrazione attesa del gas di calibrazione NO diluito (in vapore acqueo) come segue:

$$D_e = D \times \left(1 - \frac{H}{100}\right)$$

e registrarla come D_e.

L'attenuazione causata dall'acqua, che non deve superare il 3%, viene calcolata come segue:

$$\% \text{ attenuazione } H_2O = 100 \times \left(\frac{D_e - C}{D_e}\right) \times \left(\frac{H_m}{H}\right)$$

De: concentrazione prevista NO diluito (ppm)
C: concentrazione NO diluito (ppm)
H_m: concentrazione massima vapore acqueo
H: concentrazione effettiva vapore acqueo (%)

Nota: E' importante che il gas di calibrazione di NO contenga una concentrazione minima di NO_2 per questa prova perchè nei calcoli dell'attenuazione non si è tenuto conto dell'assorbimento di NO_2 in acqua.

1.10.3. *Interferenza sull'analizzatore di O_2*

La risposta degli strumento di un analizzatore PMD causata dai gas diversi dall'ossigeno è relativamente bassa. Gli equivalenti ossigeno dei componenti dei gas di scarico più comuni sono illustrati nella tabella 1.

Tabella 1 - Equivalenti ossigeno

Gas	Equivalenti O_2 (%)
Biossido di carbonio (CO2)	- 0,623
Monossido di carbonio (CO)	- 0,354
Ossido di azoto (NO)	-+ 44,4
Biossido di azoto (NO2)	+ 28,7
Acqua (H2O)	- 0,381

Se sono necessarie misurazioni di alta precisione, la concentrazione di ossigeno rilevata deve essere corretta secondo la seguente formula:

$$\text{Interferenza} = \frac{(\text{Equivalente O2 \% x conc. oss.})}{100}$$

1.11 **Intervalli di taratura**

Tarare gli analizzatori conformemente al punto 1.5 almeno una volta ogni tre mesi o tutte le volte che vengono effettuate riparazioni o modifiche al sistema che possano influire sulla taratura.

____

1. VALUTAZIONE DEI DATI E CALCOLI

1.1. **Valutazione dei dati relativi alle emissioni gassose**

Per la valutazione delle emissioni gassose, calcolare la media dei valori registrati almeno degli ultimi 120 secondi di ciascuna modalità di funzionamento e determinare le concentrazioni (conc) medie di HC, CO, NO_x e CO_2 per ciascuna modalità in base alla media dei valori registrati e ai corrispondenti dati di taratura. E' ammesso un differente tipo di registrazione, purchè assicuri un'acquisizione equivalente dei dati.

Le concentrazioni medie di fondo ($conc_d$) possono essere determinate in base ai valori ottenuti per l'aria di diluizione col metodo del sacco o ai valori di fondo ottenuti in modo continuo (senza sacco) e dai corrispondenti dati di taratura.

1.2. **Calcolo delle emissioni gassose**

I risultati finali della prova registrati risultano dai seguenti calcoli.

1.2.1. *Correzione secco/umido*

Convertirre la concentrazione misurata nel valore su umido secondo le formule seguenti, salvo che sia già stata misurata su umido:

$$conc\ (umido) = k_w \times conc\ (secco)$$

Per il gas di scarico grezzo:

$$kw = k_{w,r} = \frac{1}{1 + a \times 0{,}005 \times (\%\ CO\ [secco] + \%\ CO_2\ [secco]) - 0{,}01 \times \%\ H_2\ [secco] + k_{w2}}$$

dove a è il rapporto idrogeno-carbonio nel carburante.

Calcolare la concentrazione di H2 nello scarico come segue:

$$H_2\ [secco] = \frac{0{,}5 \times a \times \%\ CO\ [secco] \times (\%\ CO\ [secco] + \%\ CO_2\ [secco])}{\%\ CO\ [secco] + (3 \times \%\ CO_2\ [secco])}$$

Calcolare il fattore kw_{w2}:

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \times H_a}{1\ 000 + (1{,}608 \times H_a)}$$

H_a: umidità assoluta dell'aria di aspirazione, g d'acqua per kg di aria secca.

Per il gas di scarico diluito:

Per la misura del CO_2 su umido:

$$k_w = k_{w,e,1} = \left(1 - \frac{a \times \%\ CO_2\ [umido]}{200}\right) - k_{w1}$$

Per la misura del Co2 su secco:

$$k_w = k_{w,e,2} = \left(\frac{(1 - k_{w1})}{1 + \frac{a \times \%\ CO_2\ [secco]}{200}}\right)$$

dove a è il rapporto idrogeno-carbonio nel carburante.

Calcolare il fattore k_{w1} in base alle seguenti equazioni:

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1\,000 + 1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}$$

dove:

H_d umidità assoluta dell'aria di diluizione, g d'acqua per kg di aria secca

H_a umidità assoluta dell'aria di aspirazione, g d'acqua per kg di aria secca

$$DF = \frac{13,4}{\%\ conc_{CO2} + (ppm\ conc_{CO} + ppm\ conc_{HC}) \times 10^{-4}}$$

Per l'aria di diluizione:

$$k_{w,d} = 1 - k_{w1}$$

Calcolare il fattore k_{w1} in base alle seguenti equazioni:

$$DF = \frac{13,4}{\%\ conc_{CO2} + (ppm\ conc_{CO} + ppm\ conc_{HC}) \times 10^{-4}}$$

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1\,000 + 1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}$$

dove:

H_d umidità assoluta dell'aria di diluizione, g d'acqua per kg di aria secca

H_a umidità assoluta dell'aria di aspirazione, g d'acqua per kg di aria secca

$$DF = \frac{13,4}{\%\ conc_{CO2} + (ppm\ conc_{CO} + ppm\ conc_{HC}) \times 10^{-4}}$$

Per l'aria di aspirazione (se è differente dall'aria di diluizione):

$$k_{w,a} = 1 - k_{w2}$$

Calcolare il fattore kw2 in base alle seguenti equazioni:

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times H_a}{1\,000 + (1,608 \times H_a)}$$

H_a : umidità assoluta dell'aria di aspirazione, g d'acqua per kg di aria secca

1.2.2. *Correzione dell'umidità per NO_x*

Poichè l'emissione di NO_x dipende dalle condizioni dell'aria ambiente, la concentrazione di NO_x deve essere moltiplicata per il fattore K_H per tenere conto dell'umidità:

$$K_H = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \text{ per motori a 4 tempi}$$

$$K_H = 1 \text{ per motori a 2 tempi}$$

H_a umidità assoluta dell'aria di aspirazione, g d'acqua per kg di aria

1.2.3. *Calcolo della portata massica di emissione*

La portata massica di emissione Gas_{mass} [g/h] per ciascuna modalità si calcola come segue:
a) Per il gas di scarico grezzo ([1]):

$$Gas_{mass} = \frac{MW_{Gas}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(\%\ CO_2[umido] - \%\ CO_{2AIR}) + \%\ CO\ [umido] + \%\ HC\ [umido]\}} \times \%\ conc \times G_{FUEL} \times 1000$$

([1]) Per i NO_x la concentrazione deve essere moltiplicata per il fattore K_H (fattore di correzione dell'umidità per i NO_x)

dove:

G_{FUEL} [kg/h] è la portata massica di carburante

MW_{GAS} [kg/kgmole] è il peso molecolare di ciascun gas indicato nella tabella 1

Tabella 1 - Pesi molecolari

Gas	MW_{Gas} [kg/kgmole]
NO_x	46,01
CO	28,01
HC	$MW_{HC} = MW_{FUEL}$
CO_2	44,01

- MW FUEL = 12,011 + a x 1,00794 [kg/kgmole] è il peso molecolare del carburante, dove a è il rapporto idrogeno-carbonio e $ è il rapporto ossigeno-carbonio del carburante ([1])

- CO_{2AIR} è la concentrazione di CO_2 nell'aria di alimentazione (che, se non viene misurata, è calcolata allo 0,04%).

b) Per il gas di scarico diluito ([2]):

$$GAs_{mass} = u \times conc_c \times G_{TOTW}$$

dove:

- G_{TOTW} [kg/h] è la portata massica del gas di scarico diluito su umido che, quando si utilizza un sistema di diluizione a flusso pieno, deve essere determinata secondo quanto indicato nell'allegato III, appendice 1, punto 1.2.4

- $conc_c$ è la concentrazione di fondo corretta:

$$conc_c = conc - conc_d \times (1 - 1/DF)$$

in cui

$$DF = \frac{13,4}{\%\ conc_{CO2} + (ppm\ con_{CO} + ppm\ conc_{HC}) \times 10^{-4}}$$

Il coefficiente u figura nella tabella 2.

Tabella 2 - Valori del coefficiente u

Gas	U	conc
NO_x	0,001587	ppm

CO	0,000966	ppm
HC	0.000479	ppm
CO_2	15,19	%

I valori del coefficiente u si basano su un peso molecolare del gas di scarico diluito pari a 29 [kg/kgmole]. Il valore del coefficiente u degli HC è basato su un rapporto medio carbonio su idrogeno pari a 1/1,85.

([1]) La norma ISO 8178-1 illustra una formula più completa per il calcolo del peso molecolare del carburante (formula 50, capitolo 13.5.1 b). La formula non tiene conto solo del rapporto idrogeno-carbonio e del rapporto ossigeno-carbonio, ma anche di altri possibili componenti del carburante quali zolfo e azoto. Tuttavia, poichè per le prove sui motori ad accensione comandata della direttiva viene utilizzato un tipo di benzina che di solito contiene solo carbonio e idrogeno (denominato "carburante di riferimento" nell'allegato V), si considera la formula semplificata.
([2]) Nel caso dei NOx moltiplicare la concentrazione per il fattore di correzione dell'umidità K_H (fattore di correzione dell'umidità per i NO_x)

1.2.4. *Calcolo delle emissioni specifiche*

Le emissioni specifiche (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate nel modo seguente:

$$\text{Singolo gas} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (GAS_{massi} \times WF_i)}{\sum_{i=1}^{n} (P_i \times WF_i)}$$

dove $Pi = P_{M,i} + P_{AE,i}$

Se per la prova vengono montati dispositivi ausiliari (ad esempio ventilatori di raffreddamento o soffianti) la potenza che assorbono deve essere aggiunta ai valori registrai, eccetto il caso in cui i dispositivi ausiliari costituiscano parte integrante del motore. La potenza del ventilatore o del soffiante deve essere determinata alle velocità utilizzate per la prova mediante calcolo sulla base delle caratteristiche standard o mediante prove pratiche (cfr. allegato VII, appendice 3).

I fattori di ponderazione e il numero di modalità (n) utilizzati nel calcolo sono descritti nell'allegato IV, punto 3.5.1.1.

ESEMPI

2.1. **Dati sui gas di scarico grezzi prodotti da un motore ad accensione comandata a quattro tempi**

Per quanto riguarda i dati sperimentali (tabella 3), effettuare prima i calcoli per la modalità 1 ed estenderli successivamente alle altre modalità di prova seguendo la stessa procedura.

Tabella 3 - Casi sperimentali relativi ad un motore ad accensione comandata a quattro tempi

Modalità		1	2	3	4	5	6
Regime del motore	min^{-1}	2 550	2 550	2 550	2 550	2 550	1 480
Potenza	kW	9,96	7,5	4,88	2,36	0,94	0
Carico in %	%	100	75	50	25	10	0
Fattori di	-	0,090	0,200	0,290	0,300	0,070	0,050

ponderazione							
Pressione barometrica	kPa	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0	101,0
Temperatura aria	°C	20,5	21,3	22,4	22,4	20,7	21,7
Umidità relativa aria	%	38,0	38,0	38,0	37,0	37,0	38,0
Umidità assoluta aria	g_{H20}/kg_{air}	5,696	5,986	6,406	6,236	5,614	6,136
CO sul secco	ppm	60 995	40 725	34 646	41 976	68 207	37439
NO_x su umido	ppm	726	1 541	1 328	377	127	85
HC su umido	ppmC1	1 461	1 308	1 401	2 073	3 024	9 390
CO_2 sul secco	% Vol.	11,4098	12,691	13,058	12,566	10,822	9,516
Portata massica carburante	kg/h	2,985	2,047	1,654	1,183	1,056	0,429
Rapporto a H/C del carburante	-	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Rapporto $ O/C del carburante		0	0	0	0	0	0

2.1.1. *Fattore di correzione secco/umido* k_w

Calcolare il fattore di correzione secco/umido k_w per convertire le misure sul secco di CO e CO_2 in misure su umido.

$$kw = k_{w,r} = \frac{1}{1 + a \times 0{,}005 \times (\% CO [secco] + \% CO_2 [secco]) - 0{,}01 \times \% H_2 [secco] + k_{w2}}$$

dove:

$$H_2 [secco] = \frac{0{,}5 \times a \times \% CO [secco] \times (\% CO [secco] + \% CO_2 [secco])}{\% CO [secco] + (3 \times \% CO_2 [secco])}$$

nonchè:

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \times H_a}{1\,000 + (1{,}608 \times H_a)}$$

$$H_2 [secco] = \frac{0{,}5 \times 1{,}85 \times 6{,}0995 \times (6{,}0995 + 11{,}4098)}{6{,}0995 + (3 \times 11{,}4098)} = 2{,}450\%$$

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \times 5{,}696}{1\,000 + (1{,}608 \times 5{,}696)} = 0{,}009$$

$$kw = k_{w,r} = \frac{1}{1 + 1{,}85 \times 0{,}005 \times (6{,}0995 + 11{,}4098) - 0{,}01 \times 2{,}450 + 0{,}009} = 0{,}872$$

$$CO[umido] = CO[secco] \times k_w = 60\,995 \times 0{,}872 = 53\,198 \text{ ppm}$$

$$CO_2[umido] = CO_2[secco] \times k_w = 11{,}410 \times 0{,}872 = 9{,}951 \text{ \% Vol.}$$

Tabella 4 - Valori di CO e CO_2 misurati su umido in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2	3	4	5	6
H_2 sul secco	%	2,450	1,499	1,242	1,554	2,834	1,422
k_{w2}	-	0,009	,0,010	0,010	0,010	0,009	0,010

k_w	-	0,872	0,870	0,869	0,870	0,874	0,894
CO su umido	ppm	53 198	35 424	30 111	36 518	59 631	33 481
CO_2 su umido	%	9,951	11,039	11,348	10,932	9,461	8,510

2.1.2. *Emissioni di HC*

$$HC_{mass} = \frac{MW_{HC}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\ [umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\ CO[umido] + \%\ HC\ [umido]\}} \times \%\ conc \times G_{FUEL} \times 1\ 000$$

dove:

$$MW_{HC} = MW_{FUEL}$$

$$MW_{FUEL} = 12,011 + a \times 1,00794 = 13,876$$

$$HC_{mass} = \frac{13,876}{13,876} \times \frac{1}{(9,951 - 0,04 + 5,3198 + 0,1461)} \times 0,1461 \times 2,985 \times 1\ 000 = 28,361\ g/h$$

Tabella 5 - Emissioni di HC [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
HC_{mass}	28,361	18,248	16,026	16,625	20,357	31,578

2.1.3. *Emissioni di* NO_x

Calcolare prima il fattore di correzione dell'umidità K_H delle emissioni di NO_x come segue:

$$K_H = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H^2_a$$

$$K_H = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times 5,696 - 0,862 \times 10^{-3} \times (5,696)^2 = 0,850$$

Tabella 6 - Fattore di correzione dell'umidità K_H delle emissioni di NO_x in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
K_H	0,850	0,860	0,874	0,868	0,847	0,865

Calcolare quindi la massa NO_{xmass} [g/h]:

$$NO_{xmass} = \frac{MW_{NOx}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\ [umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\ CO[umido] + \%\ HC\ [umido]\}} \times \%\ conc \times K_H \times G_{FUEL} \times 1\ 000$$

$$NO_{xmass} = \frac{46,01}{13,876} \times \frac{1}{(9,951 - 0,04 + 5,3198 + 0,1461)} \times 0,073 \times 0,85 \times 2,985 \times 1\ 000 = 39,717\ g/h$$

Tabella 7 - Emissioni di NOx [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
NO_{xmass}	39,717	61,291	44,013	8,703	2,401	0,820

2.1.4. *Emissioni di CO*

$$CO_{mass} = \frac{MW_{CO}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\ [umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\ CO[umido] + \%\ HC\ [umido]\}} \times \%\ conc \times G_{FUEL} \times 1\ 000$$

$$CO_{2mass} = \frac{44,01}{13,876} \times \frac{1}{(9,951 - 0,04 + 5,3198 + 0,1461)} \times 9,915 \times 2,985 \times 1\ 000 = 6\ 126,806\ g/h$$

Tabella 8 - Emissioni di CO [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
CO_{mass}	2 084,588	977,638	695,278	591,183	810,334	227,285

2.1.5. *Emissioni di CO_2*

$$CO_{2mass} = \frac{MW_{CO2}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\ [umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\ CO[umido] + \%\ HC\ [umido]\}} \times \%\ conc \times G_{FUEL} \times 1\ 000$$

$$CO_{2mass} = \frac{44{,}01}{13{,}876} \times \frac{1}{(9{,}951 - 0{,}04 + 5{,}3198 + 0{,}1461)} \times 9{,}915 \times 2{,}985 \times 1\ 000 = 6\ 126{,}806\ g/h$$

Tabella 9 - Emissioni di CO_2 [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
CO_{2mass}	6 126,806	4 884,739	4 117,202	2 780,662	2 020,061	907,648

2.1.6. *Emissioni specifiche*

Le emissioni specifiche (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate nel modo seguente:

$$\text{Singolo gas} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (GAS_{massi} \times WF_i)}{\sum_{i=1}^{n} (P_i \times WF_i)}$$

Tabella 10 - Emissioni [g/h] e fattori di ponderazione in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2	3	4	5	6
HC_{mass}	g/h	28,361	18,248	16,026	16,625	20,357	31,578
NO_{xmass}	g/h	39,717	61,291	44,013	8,703	2,401	0,820
CO_{mass}	g/h	2 084,588	997,638	695,278	591,183	810,334	227,285
CO_{2mass}	g/h	6 126,806	4 884,739	4 117,202	2 780,662	2 020,061	907,648
Potenza P_I	kW	9,96	7,50	4,88	2,36	0,94	0
Fattori di ponderazione WF_I	-	0,090	0,200	0,290	0,300	0,070	0,050

$$HC = \frac{28{,}361 \times 0{,}090 + 18{,}248 \times 0{,}200 + 16{,}026 \times 0{,}290 + 16{,}625 \times 0{,}300 + 20{,}357 \times 0{,}070 + 31{,}578 \times 0{,}050}{9{,}96 \times 0{,}090 + 7{,}50 \times 0{,}200 + 4{,}88 \times 0{,}290 + 2{,}36 \times 0{,}300 + 0{,}940 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 4{,}11\ g/kWh$$

$$NO_x = \frac{39{,}717 \times 0{,}090 + 61{,}291 \times 0{,}200 + 44{,}013 \times 0{,}290 + 8{,}703 \times 0{,}300 + 2{,}401 \times 0{,}070 + 0{,}820 \times 0{,}050}{9{,}96 \times 0{,}090 + 7{,}50 \times 0{,}200 + 4{,}88 \times 0{,}290 + 2{,}36 \times 0{,}300 + 0{,}940 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 6{,}85\ g/kWh$$

$$CO = \frac{2\ 084{,}59 \times 0{,}090 + 997{,}64 \times 0{,}200 + 695{,}28 \times 0{,}290 + 591{,}18 \times 0{,}300 + 810{,}33 \times 0{,}070 + 227{,}92 \times 0{,}050}{\ } = 181{,}93\ g/kWh$$

9,96 x 0,090 + 7,50 x 0,200 + 4,88 x 0,290 + 2,36 x 0,300 + 0,940 x 0,070 + 0 x 0,050

$$CO_2 = \frac{612,81 \times 0,090 + 4\,884,74 \times 0,200 + 117,20 \times 0,290 + 2\,780,66 \times 0,300 + 2\,020,06 \times 0,070 + 907,65 \times 0,050}{9,96 \times 0,090 + 7,50 \times 0,200 + 4,88 \times 0,290 + 2,36 \times 0,300 + 0,940 \times 0,070 + 0 \times 0,050} = 816,36 \text{ g/kWh}$$

2.2. **Dati sui gas di scarico grezzi prodotti da un motore ad accensione comandata a due tempi**

Per quanto riguarda i dati sperimentali (tabella 11), effettuare prima i calcoli per la modalità 1 ed estenderli successivamente alle altre modalità di prova seguendo la stessa procedura.

Modalità		1	2
Regime del motore	min^{-1}	9 500	2800
Potenza	kW	2,31	0
Carico in %	%	100	0
Fattori di ponderazione	-	0,9	0,1
Pressione barometrica	kPa	100,3	100,3
Temperatura aria	°C	25,4	25
Umidità relativa aria	%	38,0	38,0
Umidità assoluta aria	g_{H20}/kg_{air}	7,742	7,558
CO sul secco	ppm	37 086	16 150
NO_x su umido	ppm	183	15
HC su umido	ppmC1	14 220	13 179
CO_2 sul secco	% Vol.	11,986	11,446
Portata massica carburante	kg/h	1,195	0,089
Rapporto a H/C del carburante	-	1,85	1,85
Rapporto $ O/C del carburante		0	0

2.2.1. *Fattore di correzione secco/umido k_w*

Calcolare il fattore di correzione secco/umido k_w per convertire le misure sul secco di CO e CO_2 in misure su umido.

$$kw = k_{w,r} = \frac{1}{1 + a \times 0,005 \times (\% \, CO \, [secco] + \% \, CO_2 \, [secco]) - 0,01 \times \% \, H_2 \, [secco] + k_{w2}}$$

dove:

$$H_2 \, [secco] = \frac{0,5 \times a \times \% \, CO \, [secco] \times (\% \, CO \, [secco] + \% \, CO_2 \, [secco])}{\% \, CO \, [secco] + (3 \times \% \, CO_2 \, [secco])}$$

$$H_2 \, [secco] = \frac{0,5 \times 1,85 \times 3,7086 \times (3,7086 + 11,986)}{3,7086 + (3 \times 11,986)} = 1,357\%$$

$$k_{w2} = \frac{1,608 \times H_a}{1\,000 + (1,608 \times H_a)}$$

$$k_{w2} \quad \frac{1,608 \times 7,752}{\quad} =$$

$$= \quad 1\,000 + (1{,}608 \times 7{,}742) \quad 0{,}012$$

$$kw = k_{w,r} = \frac{1}{1 + 1{,}85 \times 0{,}005 \times (3{,}7086 + 11{,}986) - 0{,}01 \times 1{,}357 + 0{,}012} = 0{,}874$$

$$CO[umido] = CO[secco] \times k_w = 37\,086 \times 0{,}874 = 32\,420 \text{ ppm}$$

$$CO_2[umido] = CO_2[secco] \times k_w = 11{,}986 \times 0{,}874 = 10{,}478 \text{ \% Vol.}$$

Tabella 12 - Valori di CO e CO_2 misurati su umido in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2
H_2 sul secco	%	1,357	0,543
k_{w2}	-	0,012	0,012
k_w	-	0,874	0,887
CO su umido	ppm	32 420	14 325
CO_2 su umido	%	10,478	10,153

2.2.2. *Emissioni di HC*

$$HC_{mass} = \frac{MW_{HC}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\,[umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\,CO[umido] + \%\,HC\,[umido]\}} \times \%\,conc \times G_{FUEL} \times 1\,000$$

dove:

$$MW_{HC} = MW_{FUEL}$$

$$MW_{FUEL} = 12{,}011 + a \times 1{,}00794 = 13{,}876$$

$$HC_{mass} = \frac{13{,}876}{13{,}876} \times \frac{1}{(10{,}478 - 0{,}04 + 3{,}2420 + 1{,}422)} \times 1{,}422 \times 1{,}195 \times 1\,000 = 112{,}520 \text{ g/h}$$

Tabella 13 - Emissioni di HC [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2
HC_{mass}	112,520	9,119

2.2.3. *Emissioni di NO_x*

Il fattore di correzione KH per le emissioni di NOx è uguale a 1 per i motori a due tempi:

$$NO_{xmass} = \frac{MW_{NOx}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\,[umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\,CO[umido] + \%\,HC\,[umido]\}} \times \%\,conc \times K_H \times G_{FUEL} \times 1\,000$$

$$NO_{xmass} = \frac{46{,}01}{13{,}876} \times \frac{1}{(10{,}478 - 0{,}04 + 3{,}2420 + 1{,}422)} \times 0{,}0183 \times 1 \times 1{,}195 \times 1\,000 = 4{,}800 \text{ g/h}$$

Tabella 14 - Emissioni di NOx [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2
NO_{xmass}	4,800	0,034

2.2.4. *Emissioni di CO*

$$CO_{mass} = \frac{MW_{CO}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(CO_2\,[umido] - \%CO_{2AIR}) + \%\,CO[umido] + \%\,HC\,[umido]\}} \times \%\,conc \times G_{FUEL} \times 1\,000$$

$$CO_{mass} = \frac{28{,}01}{13{,}876} \times \frac{1}{(10{,}478 - 0{,}04 + 3{,}2420 + 1{,}422)} \times 3{,}2420 \times 1{,}195 \times 1\,000 = 517{,}851\ g/h$$

Tabella 15 - Emissioni di CO [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2
CO_{mass}	517,851	20,007

2.1.6. *Emissioni specifiche*

Le emissioni specifiche (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate nel modo seguente:

$$\text{Singolo gas} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (GAS_{massi} \times WF_i)}{\sum_{i=1}^{n} (P_i \times WF_i)}$$

Tabella 17 - Emissioni [g/h] e fattori in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2
HC_{mass}	g/h	112,520	9,119
NO_{xmass}	g/h	4,800	0,034
CO_{mass}	g/h	517,851	20,007
CO_{2mass}	g/h	2 629,658	222,799
Potenza P_I	kW	2,31	0
Fattori di ponderazione WF_I	-	0,85	0,15

$$HC = \frac{112{,}52 \times 0{,}85 + 9{,}119 \times 0{,}15}{2{,}31 \times 0{,}85 + 0 \times 0{,}15} = 49{,}4\ g/kWh$$

$$NO_x = \frac{4{,}800 \times 0{,}85 + 0{,}034 \times 0{,}15}{2{,}31 \times 0{,}85 + 0 \times 0{,}15} = 2{,}08\ g/kWh$$

$$CO = \frac{517{,}851 \times 0{,}85 + 0{,}034 \times 0{,}15}{2{,}31 \times 0{,}85 + 0 \times 0{,}15} = 225{,}71\ g/kWh$$

$$CO_2 = \frac{2\,629{,}658 \times 0{,}85 + 222{,}799 \times 0{,}15}{2{,}31 \times 0{,}85 + 0 \times 0{,}15} = 1\,155{,}4\ g/kWh$$

2.3. **Dati sui gas di scarico diluiti prodotti da un motore ad accensione comandata a quattro tempi**

Per quanto riguarda i dati sperimentali (tabella 18), effettuare prima i calcoli per la modalità 1 ed estenderli successivamente alle altre modalità di prova seguendo la stesa procedura.

Modalità		1	2	3	4	5	6
Regime del	min^{-1}	3 060	3 060	3 060	3 060	3 060	2 100

motore							
Potenza	kW	13,15	9,81	6,52	3,25	1,28	0
Carico in %	%	100	75	50	25	10	0
Fattori di ponderazione	-	0,090	0,200	0,290	0,300	0,070	0,050
Pressione barometrica	kPa	980	980	980	980	980	980
Temperatura aria di alimentazione ([1])	°C	25,3	25,1	24,5	23,7	23,5	22,6
Umidità relativa aria di alimentazione ([1])	%	19,8	19,8	20,6	21,5	21,9	23,2
Umidità assoluta aria di alimentazione ([1])	g_{H20}/kg_{air}	4,08	4,03	4,05	4,03	4,05	4,06
CO sul secco	ppm	3 681	3 465	2 541	2 365	3 086	1 817
NO_x su umido	ppm	85,4	49,2	24,3	5,8	2,9	1,2
HC su umido	ppmC1	91	92	77	78	119	186
CO_2 sul secco	% Vol.	1,038	0,814	0,649	0,457	0,330	0,208
CO sul secco (di fondo)	ppm	3	3	3	2	2	3
NO_x su umido (di fondo)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
HC su umido (di fondo)	ppm C1	6	6	5	6	6	4
CO_2 sul secco (di fondo)	%Vol.	0,042	0,041	0,041	0,040	0,040	0,040
Portata massica carburante	kg/h	625,722	627,171	623,549	630,792	627,895	561,267
Rapporto a H/C del carburante	-	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Rapporto $ O/C del carburante		0	0	0	0	0	0

([1]) Condizioni dell'aria di diluizione uguali a quelle dell'aria di alimentazione

2.3.1. *Fattore di correzione secco/umido k_w*

Calcolare il fattore di correzione secco/umido k_w per convertire le misure sul secco di CO e CO_2 in misure su umido.

Per il gas di scarico diluito:

$$k_w = k_{w,e,2} = \left(\frac{(1 - k_{w1})}{1 + \frac{a \times \% CO_2 [secco]}{200}} \right)$$

dove:

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1\,000 + 1,608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}$$

$$DF = \frac{13,4}{\%\ conc_{CO2} + (ppm\ conc_{CO} + ppm\ conc_{HC}) \times 10^{-4}}$$

$$DF = \frac{13,4}{1,038 + (3\,681 + 91) \times 10^{-4}} = 9,465$$

$$k_{w1} = \frac{1,608 \times [4,08 \times (1 - 1/9,465) + 4,08 \times (1/9,465)]}{1\,000 + 1,608 \times [4,08 \times (1 - 1/9,465) + 4,08 \times (1/9,465)]} = 0,007$$

$$k_w = k_{w,e,2} = \left(\frac{(1 - 0,007)}{1 + \frac{1,85 \times 1,038}{200}}\right) = 0,984$$

$$CO[umido] = CO[secco] \times k_w = 3\,681 \times 0,984 = 3\,623\ ppm$$

$$CO_2[umido] = CO_2[secco] \times k_w = 1,038 \times 0,984 = 1,0219\ \%$$

Tabella 19 - Valori di CO e CO_2 misurati su umido in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2	3	4	5	6
DF	-	9,465	11,454	14,707	19,100	20,612	32,788
k_{w2}	-	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
k_w	-	0,984	0,986	0,988	0,989	0,991	0.992
CO su umido	ppm	3 623	3 417	2 510	2 340	3 057	1 802
CO_2 su umido	%	1,0219	0,8028	0,6412	0,4524	0,3264	0.2066

Per l'aria di diluizione:

$k_{w,d} = 1 - k_{w1}$

dove il fattore k_{w1} è uguale a quello già calcolato per il gas di scarico diluito.

$k_{w,d} = 1 - 0,007 = 0,993$

$$CO[umido] = CO[secco] \times k_w = 3 \times 0,993 = 3\ ppm$$

$$CO_2[umido] = CO_2[secco] \times k_w = 0,042 \times 0,993 = 0,0421\ \%\ Vol$$

Tabella 20 - Valori di CO e CO_2 misurati su umido in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2	3	4	5	6
k_{w1}	-	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
k_w	-	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0.994
CO su umido	ppm	3	3	3	2	2	3
CO_2 su umido	%	0,0421	0,0405	0,0403	0,0398	0,0394	0,0401

2.3.2. *Emissioni di HC*

$$HC_{mass} = u \times conc_c \times G_{TOTW}$$

dove:

u = 0,000478 dalla tabella 2

$conc_c$ = conc - $conc_d$ x (1 - 1/DF)

$conc_c$ = 91 - 6 x (1 - 1/9,465) = 86 ppm

HC_{mass} = 0,000478 x 86 x 625,722 = 25,666 g/h

Tabelle 21 - Emissioni di HC [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
HC_{mass}	25,666	25,993	21,607	21,850	34,074	48,963

2.3.3. *Emissioni di NO_x*

Calcolare il fattore di correzione K_H delle emissioni di NO_x come segue:

$$K_H = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times H_a - 0,862 \times 10^{-3} \times H^2_a$$

$$K_H = 0,6272 + 44,030 \times 10^{-3} \times 4,8 - 0,862 \times 10^{-3} \times (4,08)^2 = 0,79$$

Tabella 22 - Fattore di correzione dell'umidità K_H delle emissioni di NO_x in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
K_H	0,793	0,791	0,791	0,790	0,791	0,792

$$NO_{xmass} = u \times conc_c \times K_H \times G_{TOTW}$$

dove:

u = 0,001587 dalla tabella 2

$conc_c$ = conc - $conc_d$ x (1 -1/DF)

$conc_c$ = 85 -0 x (1 - 1/9,465) = 85 ppm

NO_{xmass} = 0,001587 x 85 x 0,79 x 625,722 = 67,168 g/h

Tabella 23 - Emissioni di NO_x [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
NO_{xmass}	67,168	38,721	19,012	4,621	2,319	0,811

2.3.4. *Emissioni di CO*

$$CO_{mass} = u \times conc_c \times G_{TOTW}$$

dove:

u = 0,000966 dalla tabella 2

$conc_c$ = conc - $conc_d$ x (1 -1/DF)

$conc_c$ = 3 622 - 3 x (1 - 1/9,465) = 3 620 ppm

CO_{mass} = 0,000966 x 3 620 x 625,722 = 2 188,001 g/h

Tabella 24- Emissioni di CO [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6

CO_{mass}	2 188,001	2 068,760	1 510,187	1 424,792	1 853,109	975,435

2.3.4. *Emissioni di CO_2*

$$CO_{2mass} = u \times conc_c \times G_{TOTW}$$

dove:

u = 15,19 dalla tabella 2

$conc_c$ = conc - $conc_d$ x (1 -1/DF)

$conc_c$ = 1,0219 - 0,0421 x (1 - 1/9,465) = 0,9842 % Vol

CO_{2mass} = 15,19 x 0,9842 x 625,722 = 9 354,488 g/h

Tabella 24- Emissioni di CO_2 [g/h] in base alle diverse modalità di prova

Modalità	1	2	3	4	5	6
CO_{mass}	9 354,488	7 295,794	5 717,531	3 973,503	2 756,113	1 430,229

2.3.6. *Emissioni specifiche*

Le emissioni specifiche (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate nel modo seguente:

$$\text{Singolo gas} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (GAS_{massi} \times WF_i)}{\sum_{i=1}^{n} (P_i \times WF_i)}$$

Tabella 26 - Emissioni [g/h] e fattori di ponderazione in base alle diverse modalità di prova

Modalità		1	2	3	4	5	6
HC_{mass}	g/h	25,666	25,993	21,607	21,850	34,074	48,963
NO_{xmass}	g/h	67,168	38,721	19,012	4,621	2,319	0,811
CO_{mass}	g/h	2 188,001	2 068,760	1 510,187	1 424,792	1 853,109	975,435
CO_{2mass}	g/h	9 354,488	7 295,794	5 717,513	3 973,503	2 756,113	1 430,229
Potenza P_I	kW	13,15	9,81	6,52	3,25	1,28	0
Fattori di ponderazione WF_I	-	0,090	0,200	0,290	0,300	0,070	0,050

$$HC = \frac{25{,}666 \times 0{,}090 + 25{,}993 \times 0{,}200 + 21{,}607 \times 0{,}290 + 21{,}850 \times 0{,}300 + 34{,}074 \times 0{,}070 + 48{,}963 \times 0{,}050}{13{,}15 \times 0{,}090 + 9{,}81 \times 0{,}200 + 6{,}52 \times 0{,}290 + 3{,}25 \times 0{,}300 + 1{,}28 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 4{,}12 \text{ g/kWh}$$

$$NO_x = \frac{67{,}168 \times 0{,}090 + 38{,}721 \times 0{,}200 + 19{,}012 \times 0{,}290 + 4{,}621 \times 0{,}300 + 2{,}319 \times 0{,}070 + 0{,}811 \times 0{,}050}{13{,}15 \times 0{,}090 + 9{,}81 \times 0{,}200 + 6{,}52 \times 0{,}290 + 3{,}25 \times 0{,}300 + 1{,}28 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 3{,}42 \text{ g/kWh}$$

$$CO = \frac{2\,188{,}001 \times 0{,}09 + 2\,068{,}760 \times 0{,}2 + 1\,510{,}187 \times 0{,}29 + 1\,424{,}792 \times 0{,}3 + 1853{,}109 \times 0{,}07 + 975{,}435 \times 0{,}05}{13{,}15 \times 0{,}090 + 9{,}81 \times 0{,}200 + 6{,}52 \times 0{,}290 + 3{,}25 \times 0{,}300 + 1{,}28 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 271{,}15 \text{ g/kWh}$$

$$CO_2 = \frac{9\,354{,}488 \times 0{,}09 + 7\,295{,}794 \times 0{,}2 + 5\,717{,}531 \times 0{,}29 + 3\,973{,}503 \times 0{,}3 + 2\,756{,}113 \times 0{,}07 + 1\,430{,}229 \times 0{,}05}{13{,}15 \times 0{,}090 + 9{,}81 \times 0{,}200 + 6{,}52 \times 0{,}290 + 3{,}25 \times 0{,}300 + 1{,}28 \times 0{,}070 + 0 \times 0{,}050} = 887{,}53 \text{ g/kWh}$$

Appendice 4

1. CONFORMITA' AGLI STANDARD DI EMISSIONE

La presente appendice si applica solo ai motori ad accensione comandata nella fase II.

1.1. Gli standard di emissione dei gas di scarico per i motori nella fase II, di cui all'allegato I, punto 4.2., si applicano alle emissioni dei motori per il periodo di durabilità delle caratteristiche di emissione (EDP) determinato ai sensi della presente appendice.

1.2. Per tutti i motori della fase II, se tutti i motori sottoposti a prova che rappresentano una famiglia di motori producono, quando vengono sottoposti correttamente a prove secondo le procedure illustrate nella presente direttiva, emissioni inferiori o uguali a ciascuno standard di emissione della fase II (limite di emissione della famiglia o FEL) in una determinata classe di motori, previa correzione con il fattore di deterioramento (DF) di cui alla presente appendice, s'intende che la famiglia in questione soddisfa gli standard di emissione di quella classe. Se un motore sottoposto a prova che rappresenta una famiglia di motori presenta emissioni che, previa correzione con il fattore di deterioramento di cui alla presente appendice, risultino superiori a uno standard di emissione (FEL, se applicabile) per una determinata classe di motori, s'intende che la famiglia in questione non soddisfa gli standard di emissione per quella classe di motori.

1.3. I piccoli produttori di motori possono scegliere se applicare i fattori di deterioramento per $HC+NO_x$ e CO indicati nelle tabelle 1 e 2 del presente punto o se calcolare i fattori di deterioramento per $HC+NO_x$ e CO secondo la procedura descritta al punto 1.3.1. Per le tecnologie non comprese nelle tabelle 1 e 2 del presente punto, il costruttore può utilizzare la proceura descritta al punto 1.4 della presente appendice.

Tabella 1: Motori portatili - Fattori di deterioramento predefiniti per $HC+NO_x$ e CO per i piccoli costruttori di motori.

Classe motore	Motori a due tempi		Motori a quattro tempi		Motori con post-trattamento
	$HC + NO_x$	CO	$HC + NO_x$	CO	
SH:1	1,1	1,1	1,5	1,1	I DF sono calcolati con la formual del punto 1.3.1
SH:2	1,1	1,1	1,5	1,1	
SH:3	1,1	1,1	1,5	1,1	

Tabella 2: Motori non portatili - Fattori di deterioramento predefiniti per HC + NOx e CO per i piccoli costruttori di motori

Classe motore	Motori con valvole laterali		Motori con valvole in linea		Motori con post-trattamento
	$HC + NO_x$	CO	$HC + NO_x$	CO	
SN:1	2,1	1,1	1,5	1,1	I DF sono calcolati con la formual del punto 1.3.1
SN:2	2,1	1,1	1,5	1,1	
SN:3	2,1	1,1	1,5	1,1	
SN:4	1,6	1,1	1,4	1,1	

1.3.1. Formula per il calcolo dei fattori di deterioramento per i motori con post-trattamento

$$DF = [(NE * EDF) - (CC * F)] / (NE - CC)$$

dove:

DF= fattore di deterioramento

NE = livelli di emissione di un motore nuovo prima del catalizzatore (g/kWh)

EDF = fattore di deterioramento per motori senza catalizzatore, come indicato nella tabella 1

CC = quantità convertita a 0 ore in g/kWh

F = 0,8 per gli HC e 0,0 per i NO_x per tutte le classi di motori

F = 0,8 per il CO per tutte le classi di motori

1.4. Il costruttore sceglie un DF predefinito o lo calcola, secondo il caso, per ciascun inquinante regolamentato e per tutte le famiglie di motori della fase II. I DF devono essere utilizzati per l'omologazione e per le prove delle linee di produzione.

1.4.1. Per i motori che non utilizzano i DF predefiniti delle tabelle 1 o 2, i fattori di deterioramento sono calcolati come indicato di seguito.

1.4.1.1. Su almeno un motore di prova che rappresenti la configurazione prescelta maggiormente suscettibile di superare gli standard di emissione (FEL, se applicabili) per HC + NO_x e costruito in modo da rappresentare i motori in produzione, eseguire la prova delle emissioni seguendo la procedura (completa) descritta nella presente direttiva dopo il numero di ore che corrisponde alla stabilizzazione delle emissioni.

1.4.1.2. Se la prova riguarda più di un motore, fare la media dei risultati e arrotondarla allo stesso numero di decimali contenuti nello standard applicabile, con una cifra significativa in più.

1.4.1.3. Ripetere la prova delle emissioni dopo invecchiamento del motore. La procedura di invecchiamento dovrebbe essere tale da consentire al costruttore i predire adeguatamente il deterioramento delle emissioni durante l'uso nel periodo di durabilità del motore, tenendo conto del tipo di usura e di atri meccanismi di deterioramento previsti in caso di uso normale da parte dell'utilizzatore e che potrebbero ripercuotersi sulle prestazioni a livello di emissioni. Se la prova riguarda più di un motore, fare la media dei risultati e arrotondarla allo stesso numero di decimali contenuti nello standard applicabile, con una cifra significativa in più.

1.4.1.4. Dividere le emissioni ottenute alla fine del periodo di durabilità EDP (emissioni medie, se del caso) per ciascun inquinante regolamentato per le emissioni stabilizzate (emissioni medie, se applicabili) e arrotondare il valore a due cifre significative. Il valore ottenuto è il DF; se risulta inferiore a 1,00, il DF è pari a 1,0.

1.4.1.5. E' facoltà del costruttore programmare altri punti di prova delle emissioni tra il punto di prova delle emissioni stabilizzate e la fine dell'EDP. Se sono previste prove intermedie, i punti di prova devono essere equamente distanziati nell'arco dell'EDP (più o meno due ore) e uno di essi deve situarsi a metà dell'intero EDP (più o meno 2 ore).

Per ciascun inquinante HC + NO_x viene tracciate una retta tra i punti corrispondenti ai dati, considerando che la prova iniziale sia avvenuta all'ora zero e utilizzando il metodo dei minimi quadrati. Il fattore di deterioramento è dato dalle emissioni calcolate al termine dell'EDP diviso le emissioni calcolate all'ora zero.

1.4.1.6. I fattori di deterioramento calcolati possono riguardare famiglie diverse da quelle utilizzate come riferimento per il loro calcolo, a condizione che il costruttore dimostri all'autorità competente nazionale, prima dell'omologazione, che si può ragionevolmente prevedere che le famiglie di motori interessate presentino caratteristiche analoghe di deterioramento delle emissioni alla luce della progettazione e della tecnologia utilizzate.

Segue un elenco non limitativo delle classificazioni dei modelli e delle tecnologie.

- Motori convenzionali a due tempi senza sistema di post-trattamento.

- Motori convenzionali a due tempi con convertitore in ceramica avente lo stesso materiale attivo e carico e lo stesso numero di celle per cm^2.

- Motori convenzionali a due tempi con convertitore metallico avente lo stesso materiale attivo e carico, lo stesso substrato e lo stesso numero di celle per cm^2.

- Motori a due tempi dotati di sistema di evacuazione fumi stratificato.

- Motori a quattro tempi con catalizzatore (definito in precedenza) con la stessa tecnologia valvolare e sistema di lubrificazione identico.

- Motori a quattro tempi con catalizzatore con la stessa tecnologia valvolare e sistema di lubrificazione identico.

2. PERIODI DI DURABILITA' DELLE EMISSIONI (EDP) PER I MOTORI DELLA FASE II

2.1. Al momento dell'omologazione i costruttori dichiarano la categoria di EDP applicabile e ciascuna famiglia di motori. La categoria in questione è la categoria che più si avvicina alla vita utile prevista dell'apparecchiatura nella quale si presume sarà montato il motore, secondo quanto indicato dal costruttore del motore. Il costruttore conserva i dati necessari a giustiifcare la scelta della categoria di EDP per ciascuna famiglia di motori e, su richiesta, li fornisce all'autorità di omologazione.

2.1.1. Motori portatili: il costruttore selezione una categoria di EDP in base alla tabella 1.

Tabella 1: Categorie di EDP per motori portatili (in ore)

Categoria	1	2	3
Classe SH:1	50	125	300
Classe SH:2	50	125	300
Classe SH:3	50	125	300

2.1.2. Motori non portatili: il costruttore seleziona una categoria EDP in base alla tabella 2.

Tabella 2: Categorie di EDP per motori non portatili (in ore)

Categoria	1	2	3
Classe SN:1	50	125	300
Classe SN:2	125	250	500
Classe SN:3	125	250	500
Classe SN:4	250	500	1 000

2.1.3. Il costruttore deve garantire all'autorità di omologazione che la vita utile dichiarata è adeguata. Fra i dati che giustificano la scelta della categoria di EDP operata dal costruttore per una famiglia di motori possono figurare i seguenti, che non hanno tuttavia carattere limitativo:

- studi sulle vite utili delle apparecchiature sulle quali devono essere installati i motori.

- valutazioni tecniche dei motori invecchiati a seguito di usura normale per accertare il momento in cui le prestazioni del motore si deteriorano fino al punto che, per garantire l'utilità e/o l'affidabilità dello stesso, si renda necessaria la riparazione o la sostituzione,

- dichiarazioni di garanzia e periodi di garanzia,

- materiale di marketing riguardante la vita del motore,

- rapporti sui guasti presentati dagli utilizzatori dei motori, e

- valutazioni tecniche della durabilità, espressa in ore, delle tecnologie, dei materiali o dei progetti specifici dei motori."

5) l'allegato IV diventa l'allegato V ed è modificato come segue:

I titoli attuali sono sostituiti dai seguenti testi:

"CARATTERISTICHE TECNICHE DEL CARBURANTE DI RIFERIMENTO PRESCRITTO PER L EPROVE DI OMOLOGAZIONE E PER LA VERIFICA DELLA CONFORMITA' DELLA PRODUZIONE

CARBURANTE DI RIFERIMENTO PER MACCHINE MOBILI NON STRADALI - MOTORI AD ACCENSIONE PER COMPRESSIONE"

Nella tabella, alla riga "Indice di neutralizzazione", il termine "Minimo" della seconda colonna è sostituito dal termine "Massimo". Vengono aggiunte una nuova tabella e nuove note:

"CARBURANTE DI RIFERIMENTO PER MACCHINE MOBILI NON STRADALI - MOTORI AD ACCENSIONE COMANDATA

Nota: Il carburante impiegato nei motori a due tempi è una miscela di olio lubrificante e di benzina come indicato di sgeuito. Il rapporto carburante/olio deve essere quello raccomandato dal costruttore, come indicato nell'allegato IV, punto 2.7.

Parametri	Unità di misura	Limiti ([1])		Metodo di prova	Pubblicazione
		Minimo	Massimo		
Numero di ottani ricerca (RON)		95,0	-	EN 25164	1993
Numero di ottani motore (MON)		85,0	-	EN 25163	1993
Densità a 15 °C	kg/m_3	748	762	ISO 3675	1995
Pressione di vapore Reid	kPa	56,0	60,0	EN 12	1993
Distillazione:			-		
- Punto di ebollizione iniziale	°C	24	40	EN-ISO 3405	1988
- Evaporato a 100 °C	% v/v	49,0	57,0	EN-ISO 3405	1988

- Evaporato a 150 °C	% v/v	81,0	87,0	EN-ISO 3405	1988
- Punto di ebollizione finale	°C	190	215	EN-ISO 3405	1988
Residui	%	-	2	EN-ISO 3405	1988
Analisi degli idrocarburi:	-				-
- Olefine	% v/v	-	10	ASTM D 1319	1995
- Idrocarburi aromatici	% v/v	28,0	40,0	ASTM D 1319	1995
- Benzene	% v/v	-	1,0	EN 12177	1998
- Saturi	% v/v	-	saldo	ASTM D 1319	1995
Rapporto carbonio/idrogeno		rapporto	rapporto		
Stabilità all'ossidazione ([2])	min	480	-	EN-ISO 7536	1996
Tenore di ossigeno	% m/m	-	2,3	EN 1601	1997
Gomma esistente	mg/ml	-	0,04	EN-ISO 6246	1997
Tenore di zolfo	mg/kg	-	100	EN-ISO 14596	1998
Corrosione rame a 50 °C		-	1	EN-ISO 2160	1995
Tenore di piombo	g/l	-	0,005	EN 237	1996
Tenore di fosforo	g/l	-	0,0013	ASTM D 3231	1994

Nota 1: I valori indicati nelle specifiche sono "valori effettivi". Per stabilire i loro valori limite sono state applicate le condizioni della norma ISO 4259, "Petroleum products - Determination and application of precision data in relation to methods of test", e nel fissare un valore minimo si è tenuto conto di una differenza minima di 2R sopra lo zero; nel fissare un valore massimo e uno minimo la differenza minima è 4R (R = riproducibilità). Nonostante questi calcoli, necessari per ragioni statistiche, il produttore di un carburante deve comunque mirare ad un valore zero quando il valore massimo stabilito è 2R e al valore medio quando siano indicati limite massimo e limite minimo. In caso di dubbio sulla conformità di un carburante alle specifiche, si applicano le disposizioni della norma ISO 4259

Nota 2: Il carburante può contenere inibitori dell'ossidazione e disattivanti metallici normalmente impiegati per stabilizzare flussi di benzina in raffineria; è vietato aggiungere detergenti/additivi dispersivi e oli solventi";

6) l'allegato V diventa allegato VU;

7) l'allegato VI diventa allegato VII ed è modificato come segue:

a) l'appendice 1 è modificata come segue:

- il titolo è sostituito dal seguente:

"Appendice 1"

RISULTATI DELLE PROVE PER I MOTORI AD ACCENSIONE PER COMRPESSIONE"

- Il testo del punto 1.3.2. è sostituito dal testo seguente:

"1.3.2. Potenza assorbita ai regimi del motore indicati (secondo quanto specificato dal costruttore):

Apparecchiatura	Potenza P_{AE} (in kW) assorbita a vari regimi del motore (*), tenendo conto dell'appendice 3 del presente allegato	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
Totale		

(*) Non deve essere maggiore del 10% della potenza misurata durante la prova."

- il punto 1.4.2. è sostituito dal testo seguente:

"1.4.2. **Potenza del motore (*)**

Condizione	Potenza P_{AE} (in kW) assorbita a vari regimi del motore	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
Potenza massima misurata durante la prova (P_M) (kW) (a)		
Potenza totale assorbita dall'apparecchiatura azionata dal motore conformemente al punto 1.3.2 della presente appendice o al punto 2.8 dell'allegato III (P_{AE}) (kW) (b)		
Potenza netta del motore specificata nel punto 2.4 dell'allegato 1 (kW) (c)		
c = a + b		

(*) Potenza non corretta misurata a norma dell'allegato I, punto 2.4."

- Il punto 1.5 è modificato come segue:

"1.5. **Livelli di emissione**

1.5.1. *Regolazione del dinamometro (kW)*

Carico percentuale	Regolazione del dinamometro (kW) a vari regimi del motore	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
10 (se applicabile		

25 (se applicabile		
50		
75		
100		

1.5.2. Risultati delle emissioni nel ciclo di prova"

b) Viene aggiunte la seguente appnedice

"Appendice 2

RISULTATI DELLE PROVE PER I MOTORI AD ACCENSIONE COMANDATA

1. INFORMAZIONI RELATIVE ALL'ESECUZIONE DELLE PROVE (*):

1.1. **Carburante di riferimento utilizzato per le prove**

1.1.1. Numero di ottani

1.1.2. Indicare la percentuale di olio nella miscela se il lubrificante e la benzina sono miscelati come avviene nei motori a due tempi

1.1.3. Densità della benzina per i motori a quattro tempi e della miscela benzina/olio per i motori a due tempi

____

(*) Nel caso di vari motori capostipite, indicare le informazioni relative a ciascuno di essi.

1.2. **Lubrificante**

1.2.1. marca o marche

1.2.2. Tipo o tipi

1.3. **Apparecchiatura azionata dal motore (se applicabile)**

1.3.1. Elenco e dettagli di identificazione

1.3.2. Potenza ssorbita ai regimi del motore indicati (secondo quanto specificato dal costruttore)

Apparecchiatura	Potenza P_{AE} (in kW) assorbita a vari regimi del motore (*) tenendo conto dell'appendice 3 del presente allegato	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
Totale:		

(*) Non deve essere maggiore del 10 % della potenza misurata durante la

prova.

1.4. **Prestazioni del motore**

1.4.1. Regimi del motore:

Minimo: min^{-1}

Intermedio: min^{-1}

Nominale: min^{-1}

1.4.2. Potenza del motore (*)

Condizione	Potenza P_{AE} (in kW) assorbita a vari regimi del motore	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
Potenza massima misurata durante la prova (P_M) (kW) (a)		
Potenza totale assorbita dall'apparecchiatura azionata dal motore conformemente al punto 1.3.2 della presente appendice o al punto 2.8 dell'allegato III (P_{AE}) (kW) (b)		
Potenza netta del motore specificata nel punto 2.4 dell'allegato 1 (kW) (c)		
c = a + b		

(*) Potenza non corretta misurata a norma dell'allegato I, punto 2.4.

1.5. **Livelli di emissione**

1.5.1. Regolazione del dinamometro (kW)

Carico percentuale	Regolazione del dinamometro (kW) a vari regimi del motore	
	Regime intermedio (se applicabile)	Regime nominale
10 (se applicabile		
25 (se applicabile		
50		

75		
100		

1.5.2. Risultati delle emissioni nel ciclo di prova

CO: g/kWh

HC: g/kWh

NO_x: g/kWh";

c) Viene aggiunta la seguente appendice:

"Appendice 3"

APPARECCHIATURE E DISPOSITIVI AUSILIARI DA INSTALLARE PER LA PROVA PER DETERMINARE LA POTENZA DEL MOTORE

Numero	Apparecchiature e dispositivi ausiliari	Installati durante la prova delle emissioni
1	Sistema di aspirazione	
	Collettore di aspirazione	Sì, apparecchiatura di serie
	Sfiatatotio del basamento (del carter)	Sì, apparecchiatura di serie
	Dispositivi di controllo per il sistema a doppio collettore di aspirazione	Sì, apparecchiatura di serie
	Flussometro dell'aria	Sì, apparecchiatura di serie
	Condotto aspirazione dell'aria	Sì ([a])
	Filtro dell'aria	Sì ([a])
	Silenziatore di aspirazione	Sì ([a])
	Limitatori di velocità	Sì ([a])
2	Dispositivo di riscaldamento dell'aria aspirata del collettore di aspirazione	Sì, apparecchiatura di serie da installare, se possibile, nella condizione più favorevole
3	Sistema di scarico	
	Depuratore di scarico	Sì, apparecchiatura di serie
	Collettore di scarico	Sì, apparecchiatura di serie
	Condotti di scarico	Sì ([b])
	Silenziatore	Sì ([b])
	tubo di scarico	Sì ([b])
	Freno-motore	No ([c])
	Dispositivo di sovralimentazione	Sì, apparecchiatura di serie
4	Pompa di alimentazione del carburante	Sì, apparecchiatura di serie ([d])
5	Carburazione	
	Carburatore	Sì, apparecchiatura di serie
	Dispositivo di controllo elettronico, flussometro dell'aria, ecc.	Sì, apparecchiatura di serie
	Dispositivo per motori a gas	
	Riduttore di pressione	Sì, apparecchiatura di serie
	Evaporatore	Sì, apparecchiatura di serie

	Miscelatore	Sì, apparecchiatura di serie
6	Dispositivo di iniezione del carburante (benzina e diesel)	
	Prefiltro	Sì, apparecchiatura di serie o attrezzatura banco di prova
	Filtro	Sì, apparecchiatura di serie o attrezzatura banco di prova
	Pompa	Sì, apparecchiatura di serie
	Tubo del carburante	Sì, apparecchiatura di serie
	Iniettore	Sì, apparecchiatura di serie
	Valvola di aspirazione dell'aria	Sì, apparecchiatura di serie ([c])
	Dispositivo di controllo elettronico, flussometro dell'aria, ecc.	Sì, apparecchiatura di serie
	Regolatore/sistema di comando	Sì, apparecchiatura di serie
	Fine corsa automatico di pieno carico della cremagliera in funzione delle condizioni atmosferiche	Sì, apparecchiatura di serie
7	Impianto di raffreddamento a liquido	
	Radiatore	No
	Ventilatore	No
	Crenatura del ventilatore	No
	Pompa dell'acqua	Sì, apparecchiatura di serie ([f])
	Termostato	Sì, apparecchiatura di serie ([g])
8	Raffreddamento ad aria	
	Crenatura	No(h)
	Ventilatore o soffinate	No([h])
	Dispositivo per regolare la temperatura	No
9	Impianto elettrico	
	Dinamo	Sì, apparecchiatura di serie ([i])
	Sistema distribuzione a scintilla	Sì, apparecchiatura di serie
	Bobina(e)	Sì, apparecchiatura di serie
	Schema elettrico	Sì, apparecchiatura di serie
	Candele	Sì, apparecchiatura di serie
	Impianto di controllo elettronico, compreso sensore battito/sistema di ritardo accensione	Sì, apparecchiatura di serie
10	Dispositivo di sovralimentazione	
	Compressore azionato direttamente dal motore e/o dai suoi gas di scarico	Sì, apparecchiatura di serie
	Refrigeratore ad aria	Sì, apparecchiatura di serie o attrezzatura banco di prova ([j]) ([k])
	Pompa o ventola del refrigerante (azionata dal motore)	No([h])
	Dispositivo per regolare la portata di liquido di raffreddamento	Sì, apparecchiatura di serie
11	Ventola ausiliaria del banco di	Sì, se necessario

	prova	
12	Dispositivo antinquinamento	Sì, apparecchiatura di serie ([l])
13	Impianto di avviamento	Impianto banco di prova
14	Pompa olio lubrificante	Sì, apparecchiatura di serie

([a]) Il sistema completo di aspirazione deve essere montato come previsto per l'impiego voluto se:
può influire sensibilmente sulla potenza del motore;
si tratta di motori ad accensione comandata con aspirazione atmosferica;
il costruttore lo richiede.
Negli altri casi può essere installato un sistema equivalente ed occorre verificare che la pressione di aspirazione non differisca di oltre 100 Pa dal valore limite specificato dal costruttore per un filtro dell'aria pulito.
([b]) Il sistema completo di scarico deve essere montato come previsto per l'impiego voluto se:
può influire sensibilmente sulla potenza del motore;
si tratta di motori ad accensione comandata con aspirazione atmosferica;
il costruttore lo richiede.
Negli altri casi può essere installato un sistema equivalente ed occorre verificare che la pressione di aspirazione non differisca di oltre 100 Pa dal valore limite specificato dal costruttore.
([c]) Se nel motore è incorporato un freno motore, la farfalla deve essere fissata in posizione completamente aperta.
([d]) La pressione di alimentazione del carburante può essere regolata, se del caso, per riprodurre la pressione esistente per quella particolare applicazione del motore (in particolare, se è previsto un sistema di ritorno del carburante).
([e]) La valvola di aspirazione dell'aria è quella che comanda il regolatore pneumatico della pompa di iniezione. Il regolatore o il sistema di iniezione possono contenere altri dispositivi in grado di influire sul quantitativo di carburante iniettato.
([f]) La circolazione del liquido di raffreddamento deve essere attivata soltanto dalla pompa dell'acqua del motore. Il raffreddamento del liquido può avvenire attraverso un circuito esterno, a condizione che la perdita di pressione di questo circuito e la pressione all'entrata della pompa restino più o meno pari a quelle del sistema di raffreddamento del motore.
([g]) Il termostato può essere fissato in posizione di massima apertura.
([h]) Se per la prova viene montato un ventilatore di raffreddamento o un soffiante la potenza che assorbono deve essere aggiunta ai valori registrati, eccetto il caso in cui i ventilatori di raffreddamento di motori raffreddati ad aria siano montati direttamente sull'albero a gomiti. La potenza del ventilatore o del soffiante deve essere determinata alle velocità utilizzate per la prova mediante calcolo sulla base delle caratteristiche standard o mediante prove pratiche.
([i]) Erogazione minima della dinamo: la dinamo deve fornire la corrente minima necessaria al funzionamento dei dispositivi ausiliari indispensabili al funzionamento ed il motore. ove occorra raccordare una batteria, quest'ultima dovrà essere in buono stato e completamente carica.
([j]) I motori a raffreddamento dell'aria di sovralimentazione devono essere collaudati con tale sistema in azione (a liquido o ad aria); a discrezione del fabbricante, però, il refrigeratore dell'aria può essere sostituito con un dispositivo sul banco di prova. In entrambi i casi, la misurazione della potenza ad ogni velocità deve essere effettuata agli abbassamenti massimi di pressione e minimi di temperatura dell'aria del motore attraverso il refrigeratore dell'aria di sovralimentazione nel dispositivo sul banco di prova specificato dal costruttore.
([k]) Ad esempio, dispositivo di ricircolazione dei gas combusti (EGR), convertitore catalitico, reattore termico, alimentatore secondario di aria e dispositivo di protezione dell'evaporazione del carburante.
([l]) L'energia per l'impianto elettrico o altri sistemi di avviamento viene fornita dal banco di prova.";

---

8) gli allegati da VII a X diventano allegati da VIII a XI;

9) è aggiunto il seguente allegato.

"ALLEGATO XII

RICONOSCIMENTO DI OMOLOGAZIONI ALTERNATIVE

1. Le omologazioni in appresso e, se del caso, i relativi marchi di omologazione sono ritenuti equivalenti all'omologazione concessa a norma della presente direttiva per i motori delle classi A, B e C di cui all'articolo 9, punto 2:

1.1. Direttiva 2000/25/CE

1.2. Omologazioni concesse a norma della direttiva 88/77/CEE, conformi ai requisiti della fase A o B, di cui all'articolo e all'allegato I, punto 6.2.1, della direttiva stessa, modificata dalla direttiva 91/542/CEE, o a norma del regolamento UNECE n. 49, serie 02 di emendamenti, errata corrige I/2.

1.3. Certificati di omologazione a norma del regolamento UNECE n. 96.

2. Le omologazioni in appresso e, se del caso, i relativi marchi di omologazione sono ritenuti equivalenti all'omologazione concessa a norma della presente direttiva per i motori delle classi D, E, F e G (fase II) di cui all'articolo 9, punto 3:

2.1. Direttiva 2000/25/CE, omologazioni fase II.

2.2. Omologazioni concesse a norma della direttiva 88/77/CEE, modificata dalla direttiva 99/96/CE, conformi ai requisiti delle fasi A, B1, B2 o C di cui all'articolo 2 e all'allegato I, punto 6.2.1.

2.3. Regolamento UNECE n. 49, serie 03 di emendamenti.

2.4. Regolamento UNECE n. 96, omologazioni fase B, di cui alla serie 01 di emendamenti, punto 5.2.1."

Bibliografia

- BIO Intelligence Service, AirConsult. Étude du marché français des biolubrifiants. ADAME. Février 2004.

- Programma per l'introduzione dei biolubrificanti nel mercato Tedesco. Dr. Ing. Heinrich Theissen. IFAS, Istitute for Power Driver and Controls- Aachen University. Traduzione a cura di Ecoimpresa.

- Fiche Techinique Agro-industrie. Les biolubrifiants. Nina Quelenis-PRONOVIAL. Février 2005.

- Decisione della Commissione del 26 aprile 2005 che stabilisce i criteri di valutazione e di verifica per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica ai lubrificanti (2005/360/CE).

- Renewable Lubricant Inc. Utilizzo del rame come additivo oli motore vegetale. William W. Garmier.

- Liquidi in condizioni ambientali compatibili. Lubrizol

- Meccanica agraria. Le macchine agricole. Paolo Biondi